

DISSERTATION

**Gärungsverlauf und Gärqualität von  
Silagen aus nitratarmem Grünfutter**

Zur Erlangung des akademischen Grades doctor rerum agriculturalarum

Landwirtschaftlich Gärtnerische Fakultät

Dipl. Chem. Kirsten Weiß, geb. Henning  
geb. am : 16.Mai 1963 in Berlin

Prof. Dr. Lindemann

Gutachter: 1. Prof. Dr. E. Kaiser  
2. Prof. Dr. H. Schenkel  
3. Dr. sc. W. Seyfarth

eingereicht: 29.09.2000

Datum der Promotion: 09.03.2001

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Wissensstand und Aufgabenstellung	3
2.1	Nitratgehalt und Gärverlauf	3
2.2	Vergärbarkeit von Futterpflanzen	7
2.3	Aufgabenstellung	13
3	Material und Methoden	14
3.1	Silierungsversuche	14
3.1.1	Versuche zur Dynamik des Gärungsverlaufes von nitratarmem Grünfutter	14
3.1.2	Versuche zur Gärqualität von Silagen nach Auslagerung und zur Vergärbarkeit von nitratarmem Grünfutter	16
3.1.2.1	Versuche mit <i>Dactylis glomerata</i> und <i>Festuca species</i> aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität (vierjährig)	16
3.1.2.2	Versuche mit Grasmischungen aus unterschiedlichen Nutzungsvarianten (einjährig)	18
3.2	Chemisch- analytische Untersuchungen von Grünfutter und Silage	20
3.3	Mikrobiologische Untersuchungen	21
3.4	Auswertung der Ergebnisse	21
4	Ergebnisse	23
4.1	Untersuchungen zum Gärungsverlauf bei der Silierung von nitratarmem Grünfutter	23
4.1.1	Gärungsverlauf in Grünfutter bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz	23
4.1.1.1	Gärungsverlauf in Grünfutter mit geringem Clostridiensporenbesatz	23
4.1.1.2	Gärungsverlauf in Grünfutter mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz	26
4.1.1.3	Vergleich der Gärungsverläufe in Abhängigkeit von der Höhe des Clostridiensporenbesatzes	29
4.1.2	Gärungsverlauf bei Zusatz von Nitrat und Nitrit	31
4.1.2.1	Gärungsverlauf in Grünfutter mit geringem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Nitrat und Nitrit	32
4.1.2.2	Gärungsverlauf in Grünfutter mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Nitrat und Nitrit	39
4.1.2.3	Vergleich der Gärungsverläufe bei Zusatz von Nitrat und Nitrit in Abhängigkeit der Höhe des Clostridiensporenbesatzes	46
4.1.3	Gärungsverlauf bei Zusatz von Milchsäurebakterien und Ameisensäure	55
4.1.3.1	Gärungsverlauf in Grünfutter mit geringem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Milchsäurebakterien und Ameisensäure	57
4.1.3.2	Gärungsverlauf in Grünfutter mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Milchsäurebakterien und Ameisensäure	62
4.1.3.3	Vergleich der Gärungsverläufe bei MSB- und AS-Zusatz in Abhängigkeit von der Höhe des Clostridiensporenbesatzes	68
4.1.4	Gärungsverlauf bei geringem und erhöhtem Clostridiensporenbesatz und verschiedenen Zusätzen im Vergleich	76

## Inhaltsverzeichnis

4.2	Untersuchungen zur Gärqualität von Silagen aus nitratarmem Grünfutter	81
4.2.1	Nitratgehalt des Grünfutters	81
4.2.2	Gärqualität von Silagen aus <i>D.glom.</i> und <i>F.spec.</i> (1993 - 1996)	82
4.2.2.1	Gärqualität der Silagen in den einzelnen Versuchsjahren (1993 - 1996)	82
4.2.2.2	Gärqualität von Silagen nach Vergärbarkeit des Grünfutters (1993-1996)	85
4.2.3	Gärqualität von Silagen aus Grasmischungen (1998)	88
4.2.4	Silierungsmittelwirkung auf die Gärqualität der Silagen	91
4.2.4.1	Wirkung von Milchsäurebakterien	91
4.2.4.2	Wirkung von Ameisensäure	95
4.2.4.3	Wirkung von nitrithaltigem Silierungsmittel	97
4.2.4.4	Vergleich der Silierungsmittel	99
4.2.4.5	Silierungsmittelwirkung auf die Gärqualität der Silagen aus Grünfutter mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz	101
4.2.5	Beurteilung der Gärqualität von Silagen aus nitratarmem Grünfutter (nach DLG-Schlüssel)	103
4.3	Untersuchungen zur Vergärbarkeit von nitratarmem Grünfutter	108
4.3.1	Versuche mit <i>Dactylis glomerata</i> und <i>Festuca species</i> (vierjährig)	109
4.3.1.1	Chemische Zusammensetzung des Grünfutters	109
4.3.1.1.1	Rohfasergehalt und Rohproteingehalt des Grünfutters	109
4.3.1.1.2	Trockensubstanzgehalt	111
4.3.1.1.3	Wasserlösliche Kohlenhydrate und Pufferkapazität	113
4.3.1.2	Einschätzung der Vergärbarkeit	115
4.3.1.3	Epiphytischer Mikroorganismenbesatz des Grünfutters	117
4.3.2	Versuche mit Grasmischungen aus unterschiedlichen Nutzungsvarianten (einjährig)	119
4.3.2.1	Chemische Zusammensetzung und Vergärbarkeit des Grünfutters	119
4.3.2.2	Epiphytischer Mikroorganismenbesatz des Grünfutters	122
4.3.3	Vergärbarkeit und Gärqualität der Silagen aus unterschiedlichen Nutzungsvarianten im Vergleich	124
5	Diskussion	125
5.1	Zum Gärungsverlauf bei der Silierung von nitratarmem Grünfutter	125
5.1.1	Zur Buttersäurebildung	125
5.1.2	Zur Essigsäurebildung	131
5.2	Zur Vergärbarkeit von nitratarmem Grünfutter	133
5.2.1	Zur Vergärbarkeit nach TS und Z/PK in Abhängigkeit von Aufwuchs und Pflanzenart	134
5.2.2	Zum natürlichen Laktobakterienbesatz in Abhängigkeit vom Aufwuchs	136
5.2.3	Zur Bedeutung des Welkens für die Silierung von nitratarmem Grünfutter	138

## Inhaltsverzeichnis

5.3	Zur Siliermittelwirkung	139
5.3.1	Zum Einsatz von Inoculantien	139
5.3.2	Einsatz von Ameisensäure	141
5.3.3	Zum Einsatz eines nitrithaltigen Siliermittels	142
5.4	Zur Bewertung der Gärqualität von Silagen aus nitratarmem Grünfutter	143
6	Schlußfolgerungen und Empfehlungen für die Praxis	145
7	Zusammenfassung	147
8	Anhang	160

## Verwendete Abkürzungen

### **Verwendete Abkürzungen**

ADF	Saure Detergentienfaser (Acid detergent fibre)
Alk.	Alkohol
AS	Ameisensäure
Aufw.	Aufwuchs
BS	Buttersäure
CS	Capronsäure
D.glom.	Dactylis glomerata
E.faecium	Enterococcus faecium
ES	Essigsäure
F.spec.	Festuca species
FFS $\geq$ C4	flüchtige Fettsäuren mit $\geq 4$ Kohlenstoffatomen (hier: n-Buttersäure + i-Buttersäure + n-Valeriansäure + i-Valeriansäure + Capronsäure)
FM	Frischmasse
Ges.-BS oder BS <sub>Ges.</sub>	Gesamt-Buttersäure= n-Buttersäure + i-Buttersäure + n-Valeriansäure + i-Valeriansäure + Capronsäure
GLG	Gras-Leguminosen-Gemenge
GS	Gesamtsäure
GV	Gärverlust
KBE	Koloniebildende Einheit
KG	Knautgras
konz.	Konzentriert
L.plant.	Lactobacillus plantarum
MPN	Most probable number
MS	Milchsäure
MSB	Milchsäurebakterien
n.b.	nicht bestimmt
n.n.	nicht nachweisbar
N	Stickstoff
N <sub>ges.</sub> oder Ges.-N	Stickstoff, gesamt
NDF	Neutrale Detergentienfaser (Neutral detergent fibre)
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NH <sub>3</sub> -N	Ammoniak- Stickstoff
Nitrith.	Nitrithaltig

### Verwendete Abkürzungen

NO <sub>2</sub>	Nitrit
NO <sub>3</sub>	Nitrat
OS	Originalsubstanz
PK	Pufferkapazität
PS	Propionsäure
RA	Rohasche
RFa	Rohfaser
RP	Rohprotein
SM	Siliermittel
TS	Trockensubstanz, Trockenmasse
TS <sub>min</sub>	Mindesttrockensubstanzgehalt
VK	Vergärbarkeitskoeffizient
VS	Valeriansäure
WLKH	Wasserlösliche Kohlenhydrate
Z	Zucker

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gärungsverlauf von Grünfutter mit geringem Clostridiensporenbesatz ( $1,5 \times 10^2$ bis $1,2 \times 10^3$ MPN/ gFM) Knaulgras (KG), 1. Aufwuchs: TS 25,6%; Z/PK 4,4; $\text{NO}_3$ 0,27g/kg; VK 61 Knaulgras (KG), 2. Aufwuchs: TS 19,7%; Z/PK 2,0; $\text{NO}_3$ 0,22g/kg; VK 36 Gras-Leguminosen-Gemenge(GLG), 1.Aufwuchs: TS 13,3%; Z/PK 1,8; $\text{NO}_3$ 0,47g/kg; VK 28 .....	25
Abbildung 2: Gärungsverlauf von Grünfutter mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz ( $2,1$ bis $3,5 \times 10^3$ MPN/ gFM) Knaulgras (KG), 1. Aufwuchs: TS 29,4%; Z/PK 4,3; $\text{NO}_3$ 0,24 g/kg;VK 64 Knaulgras (KG), 2. Aufwuchs: TS 21,5%; Z/PK 2,1; $\text{NO}_3$ 0 g/kg; VK 38 Gras-Leguminosen-Gemenge(GLG), 1.Aufwuchs: TS 18,5%; Z/PK 1,3; $\text{NO}_3$ 0,70 g/kg; VK 29 .....	28
Abbildung 3: Gärungsverlauf von Knaulgras, 1.Aufwuchs, bei Zusatz von Nitrat und Nitrit geringer Clostridiensporenbesatz ( $1,5 \times 10^2$ MPN/ g FM) .....	33
Abbildung 4: Gehalt an Essigsäure, Ammoniak und Alkohol (Ethanol+Propanol) sowie .....	34
Abbildung 5: Gärungsverlauf von Knaulgras, 2. Aufwuchs, bei Zusatz von Nitrat und Nitrit geringer Clostridiensporenbesatz ( $3 \times 10^2$ MPN/ g FM) .....	35
Abbildung 6:Gehalt an Essigsäure, Ammoniak und Alkohol (Ethanol+Propanol) sowie Gärverluste von Knaulgras, 2. Aufwuchs, mit geringem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Nitrat und Nitrit.....	36
Abbildung 7: Gärungsverlauf von Gras-Leguminosen-Gemenge, 1.Aufwuchs, bei Zusatz von Nitrat und Nitritgeringer Clostridiensporenbesatz ( $1,2 \times 10^3$ MPN/ g FM).....	37
Abbildung 8: Gehalt an Essigsäure, Ammoniak und Alkohol (Ethanol+Propanol) sowie .....	38
Abbildung 9: Gärungsverlauf von Knaulgras, 1.Aufwuchs, bei Zusatz von Nitrat und Nitrit erhöhter Clostridiensporenbesatz ( $3,5 \times 10^3$ MPN/ g FM) .....	40
Abbildung 10: Gehalt an Essigsäure und Alkohol (Ethanol+Propanol) sowie Gärverluste von Knaulgras, 1. Aufwuchs, .....	41
Abbildung 11: Gärungsverlauf von Knaulgras, 2.Aufwuchs, bei Zusatz von Nitrat und Nitrit erhöhter Clostridiensporenbesatz ( $2,1 \times 10^3$ MPN/ g FM) .....	42
Abbildung 12: : Gehalt an Essigsäure und Alkohol (Ethanol+Propanol) sowie Gärverluste von Knaulgras, 2. Aufwuchs, .....	43
Abbildung 13: Gärungsverlauf von Gras-Leguminosen-Gemenge, 1.Aufwuchs, bei Zusatz von Nitrat und Nitrit erhöhter Clostridiensporenbesatz ( $2,9 \times 10^3$ MPN/ g FM).....	44
Abbildung 14: Gehalt an Essigsäure, Ammoniak und Alkohol (Ethanol+ Propanol) sowie Gärverluste von Gras-Leguminosen-Gemenge, 1. Aufwuchs, mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz bei .....	45
Abbildung 15: Milchsäure- und Buttersäuregehalt in Silagen bei Zusatz von Nitrat und Nitrit nach 7 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz des Grünfutters.....	47
Abbildung 16: Milchsäure- und Buttersäuregärung in Silagen bei Zusatz von Nitrat und Nitrit nach 28 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz.....	50
Abbildung 17: Milchsäure- und Buttersäuregehalt in Silagen bei Zusatz von Nitrat und Nitrit nach 180 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz des Grünfutters.....	52
Abbildung 18: Gärungsverlauf von Knaulgras, 1.Aufwuchs, bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS); geringer Chlostridiensporenbesatz ( $1,5 \times 10^2$ MPN/ g FM).....	56
Abbildung 19: Gehalt an Essigsäure, Ammoniak und Alkohol (Ethanol+Propanol) sowie Gärverluste von Knaulgras, 1. Aufwuchs, mit geringem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS).....	57
Abbildung 20: Gärungsverlauf von Knaulgras, 2.Aufwuchs, bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS), geringer Clostridiensporenbesatz ( $3 \times 10^2$ MPN/ g FM) .....	58
Abbildung 21: Gehalt an Essigsäure, Ammoniak und Alkohol (Ethanol+Propanol) sowie Gärverluste	

## Abbildungsverzeichnis

von Knaulgras, 2. Aufwuchs, mit geringem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS).....	59
Abbildung 22: Gärungsverlauf von Gras-Leguminosen-Gemenge, 1.Aufwuchs, bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS); geringer Clostridiensporenbesatz ( $1,2 \times 10^3$ MPN/ g FM).....	61
Abbildung 23: Gehalt an Essigsäure, Ammoniak und Alkohol (Ethanol+Propanol) sowie Gärverluste von Gras-Leguminosen-Gemenge, 1. Aufwuchs, mit geringem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS).....	62
Abbildung 24: Gärungsverlauf von Knaulgras, 1.Aufwuchs, bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS), erhöhter Clostridiensporenbesatz ( $3,5 \times 10^3$ MPN/ g FM) .....	63
Abbildung 25: Gehalt an Essigsäure und Alkohol (Ethanol+Propanol) sowie Gärverluste von Knaulgras, 1. Aufwuchs, mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS) .....	64
Abbildung 26: Gärungsverlauf von Knaulgras, 2.Aufwuchs, bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS), erhöhter Clostridiensporenbesatz ( $2,1 \times 10^3$ MPN/ g FM) .....	65
Abbildung 27: Gehalt an Essigsäure und Alkohol (Ethanol+Propanol) sowie Gärverluste von Knaulgras, 2. Aufwuchs, mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS) .....	66
Abbildung 28: Gärungsverlauf von Gras-Leguminosen-Gemenge, 1.Aufwuchs, bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS), erhöhter Clostridiensporenbesatz ( $2,9 \times 10^3$ MPN/ g FM).....	67
Abbildung 29: Gehalt an Essigsäure, Ammoniak und Alkohol (Ethanol+Propanol) sowie Gärverluste von Gras-Leguminosen-Gemenge, 1. Aufwuchs, mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS).....	68
Abbildung 30: Milchsäure- und Buttersäuregehalt in Silagen bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS) nach 7 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz des Grünfutters .....	69
Abbildung 31: Milchsäure- und Buttersäuregehalt in Silagen bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS) nach 28 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz des Grünfutters .....	72
Abbildung 32: Milchsäure- und Buttersäuregehalt in Silagen bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS) nach 180 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz .....	74
Abbildung 33: Milchsäure- und Buttersäuregärung in Silagen von Knaulgras, 1. Aufwuchs, bei verschiedenen Zusätzen in Abhängigkeit von der Clostridiensporenbelastung .....	77
Abbildung 34: Milchsäure- und Buttersäuregärung in Silagen von Knaulgras, 2. Aufwuchs, bei verschiedenen Zusätzen in Abhängigkeit von der Clostridiensporenbelastung .....	79
Abbildung 35: Milchsäure- und Buttersäuregärung in Silagen von Gras-Leguminosen- Gemenge, 1. Aufwuchs, bei verschiedenen Zusätzen in Abhängigkeit von der Clostridiensporenbelastung .....	80
Abbildung 36: Milchsäuregehalt in Silagen von nitratarmem Grünfutter ( <i>Dactylis glomerata</i> und <i>Festuca species</i> ) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität nach 180 Tagen Lagerungsdauer; 1993-1996 .....	83
Abbildung 37: Buttersäuregehalt in Silagen von nitratarmem Grünfutter ( <i>Dactylis glomerata</i> und <i>Festuca species</i> ) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität nach 180 Tagen Lagerungsdauer; 1993-1996 .....	83
Abbildung 38: Buttersäuregehalt in Silagen in Abhängigkeit von der Vergärbarkeit (VK) des nitratarmen Grünfutters nach Aufwachsen; n=70 <i>D.glom.</i> und <i>F.spec.</i> ; 1993-1996 .....	87
Abbildung 39: Buttersäure-Gehalt in Silagen in Abhängigkeit von der Vergärbarkeit (VK) des Grünfutters nach Aufwachsen (Grasmischungen, 1998).....	90



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 40: Buttersäure- (BS <sub>Ges.</sub> ) und Milchsäuregehalt in Silagen aus <i>D.glom.</i> und <i>F.spec.</i> bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B nach Klassen der Vergärbarkeit; Mittelwerte (1993-1996) .....	92
Abbildung 41: Buttersäuregehalt in Silagen aus nitratarmem Grünfutter ( <i>D.glom.</i> u. <i>F.spec.</i> ) mit MSB-Zusatz ( $>10^5$ KBE/ g FM) in Abhängigkeit von der Vergärbarkeit des Grünfutters (1993-1996); n= 137 .....	93
Abbildung 42: Verteilung der Silagen aus <i>D.glom.</i> und <i>F.spec.</i> mit Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB A und B zusammengefaßt) in den BS-Klassen im Vergleich zur Kontrolle (1993-1996) .....	93
Abbildung 43: Essigsäure-Gehalt in Silagen aus nitratarmem Grünfutter ( <i>D.glom.</i> und <i>F.spec.</i> ) in Abhängigkeit vom Aufwuchs bei Zusatz von Milchsäurebakterienpräparaten (MSB) A und B (1993-1996) .....	94
Abbildung 44: Buttersäure-(BS <sub>Ges.</sub> ) und Milchsäuregehalt in Silagen aus <i>D.glom.</i> und <i>F.spec.</i> bei Zusatz von Ameisensäure (AS) nach Klassen der Vergärbarkeit; Mittelwerte (1993-1996) .....	96
Abbildung 45: Verteilung der Silagen aus <i>D.glom.</i> und <i>F.spec.</i> mit Zusatz von Ameisensäure (AS) in den BS-Klassen im Vergleich zur Kontrolle (1993-1996) .....	96
Abbildung 46: Buttersäure- Gehalt in Silagen aus nitratfreiem Grünfutter ( <i>D.glom.</i> und <i>F.spec.</i> ) bei Zusatz von Ameisensäure in mol / kg TS (1993-1996) .....	97
Abbildung 47: Buttersäure- (BS <sub>Ges.</sub> ) und Milchsäure-Gehalt in Silagen aus <i>D.glom.</i> und <i>F.spec.</i> bei Zusatz eines nitrithaltigen Siliermittels (Nitrit) nach Klassen der Vergärbarkeit; Mittelwerte (1994-1996) .....	98
Abbildung 48: Verteilung der Silagen aus <i>D.glom.</i> und <i>F.spec.</i> mit Zusatz eines nitrithaltigen Siliermittels (Nitrit) in den BS-Klassen im Vergleich zur Kontrolle (1994-1996) .....	98
Abbildung 49: Buttersäuregehalt (BS <sub>Ges.</sub> ) in nitratarmem Grünfutter von <i>D.glom.</i> bei verschiedenen Silierzusätzen (1993-1996) .....	99
Abbildung 50: Buttersäuregehalt (BS <sub>Ges.</sub> ) in nitratarmem Grünfutter ( <i>F.spec.</i> ) bei verschiedenen Silierzusätzen (1993-1996) .....	100
Abbildung 51: Buttersäuregehalt (BS <sub>Ges.</sub> ) in Silagen aus nitratarmem Grünfutter ( <i>D.glom.</i> und <i>F.spec.</i> ) mit erhöhtem Clostridiensporengehalt bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB), Ameisensäure (AS) und einem nitrithaltigen Siliermittel (Nitrit) .....	102
Abbildung 52: Rohfasergehalt im Grünfutter ( <i>Dactylis glomerata</i> und <i>Festuca species</i> ) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität; 1993-1996 .....	110
Abbildung 53: Rohproteingehalt im Grünfutter ( <i>Dactylis glomerata</i> und <i>Festuca species</i> ) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität; 1993-1996 .....	110
Abbildung 54: Trockensubstanzgehalt im Grünfutter ( <i>Dactylis glomerata</i> und <i>Festuca species</i> ) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität; 1993-1996 .....	112
Abbildung 55: Trockensubstanz(TS)-Gehalte der 1. Aufwüchse aller Nutzungsvarianten von <i>D.glom.</i> und <i>F. spec.</i> (1993 – 1996) .....	112
Abbildung 56: Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten im Grünfutter ( <i>Dactylis glomerata</i> und <i>Festuca species</i> ) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität; 1993-1996 .....	113
Abbildung 57: Pufferkapazität im Grünfutter ( <i>Dactylis glomerata</i> und <i>Festuca species</i> ) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität; 1993-1996 .....	114
Abbildung 58: Vergärbarkeit von <i>D.glom.</i> u. <i>F.spec.</i> , 1.Aufwuchs (nach Schnittzeitpunkten) .....	116
Abbildung 59: Vergärbarkeit von <i>D.glom.</i> u. <i>F.spec.</i> , 2.Aufwuchs (nach Schnittzeitpunkten) .....	116
Abbildung 60: Rohfasergehalt im Grünfutter (Grasmischungen) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität; 1998 .....	119
Abbildung 61: Rohproteingehalt im Grünfutter (Grasmischungen) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität; 1998 .....	120

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 62: Trockensubstanzgehalt im Grünfutter (Grasmischungen) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität; 1998 .....	120
Abbildung 63: Gärprozess in nitrathaltigem bzw. nitratfreiem Grünfutter, Gärbeginn und Hauptgärphase .....	127
Abbildung 64: Fehlgärungsprozesse in nitrathaltigem und nitratfreiem Grünfutter .....	130
Abbildung 65: Zur Essigsäurebildung während der Silierung .....	131

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Clostridienarten in der Silage nach Hauptgärs substrat .....	6
Tabelle 2: Homo- und heterofermentative Milchsäure-Gärung (Übersicht).....	10
Tabelle 3: Silierversuche zur Prüfung des Gärungsverlaufes .....	14
Tabelle 4: Klima- und Witterungsverhältnisse am Standort der Versuchsstation Blumberg für 1993 und 1994 (März bis August).....	15
Tabelle 5: Nutzungsregime der Feldversuche 1993-1996.....	16
Tabelle 6: Durchschnittliche Tagestemperatur in °C und Jahresniederschlagsmengen in mm, 1993 - 1996 am Standort der Versuchsstation Berge.....	17
Tabelle 7: Nutzungsregime (Schnittzeitpunkte und Düngungsvarianten) der Feldversuche mit Grasmischungen (1998) .....	19
Tabelle 8: Chemische Analysen des Grünfutters .....	20
Tabelle 9: Chemische Analysen der Silagen.....	21
Tabelle 10: Chemische Zusammensetzung und Clostridiensporengehalt des Ausgangsmaterials der Silierversuche (ausgewählte Parameter) geringer Clostridiensporenbesatz.....	23
Tabelle 11: Chemische Zusammensetzung und Clostridiensporengehalt des Ausgangsmaterials der Silierversuche (ausgewählte Parameter); erhöhter Clostridiensporenbesatz .....	27
Tabelle 12: Gärproduktmuster der Silagen aus nitratarmem Grünfutter bei geringem und erhöhtem Clostridiensporenbesatz nach 7, 28 und 180 Tagen .....	30
Tabelle 13: Ausgewählte Merkmale der Gärqualität der Silagen mit Nitrat-/Nitrit-Zusätzen nach 7 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz des Grünfutters.....	48
Tabelle 14: Ausgewählte Merkmale der Gärqualität der Silagen mit Nitrat-/Nitrit-Zusätzen nach 28 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz des Grünfutters.....	51
Tabelle 15: Ausgewählte Merkmale der Gärqualität der Silagen mit Nitrat-/Nitrit-Zusätzen nach 180 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz des Grünfutters.....	53
Tabelle 16: Wirkung der Nitrat-/Nitrit-Zusätze auf BS-Gärung nach 180 Tagen in allen Versuchen (Zusammenfassung).....	55
Tabelle 17: Ausgewählte Merkmale der Gärqualität der Silagen mit MSB- u. AS- Zusatz nach 7 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz des Grünfutters .....	70
Tabelle 18: Ausgewählte Merkmale der Gärqualität der Silagen mit MSB- u. AS-Zusatz nach 28 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz des Grünfutters .....	71
Tabelle 19: Ausgewählte Merkmale der Gärqualität der Silagen mit MSB- u. AS-Zusatz nach 180 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz.....	75
Tabelle 20: Wirkung der Zusätze MSB A,B und Ameisensäure auf BS-Gärung nach 180 Tagen in allen Versuchen (Zusammenfassung).....	76
Tabelle 21: Nitratgehalt im Grünfutter ( <i>D.glom.</i> und <i>F.spec.</i> ), 1993 - 1996 (Spannweite).....	82
Tabelle 22: Nitratgehalt im Grünfutter (Grasmischungen), 1998.....	82
Tabelle 23: Essigsäure-, Alkoholgehalt, n-BS-Anteil und Ammoniak-N in Silagen von nitratarmem Grünfutter ( <i>D.glom.</i> und <i>F.spec.</i> ) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität eines Jahres; Mittelwert und Spannweite.....	85
Tabelle 24: Gärqualität der Silagen von <i>D.glom.</i> und <i>F.spec.</i> nach Vergärbarkeit (VK) und Aufwuchs; Milchsäure(MS)-, Buttersäure(BS)-, Gesamtsäure (GS)-Gehalt in % der TS; Mittelwert und Spannweite .....	86
Tabelle 25: Gärqualität der Silagen von <i>D.glom.</i> und <i>F.spec.</i> nach Vergärbarkeit (VK); Essigsäure(ES)-,	

## Tabellenverzeichnis

Alkohol(Alk.)- und Ammoniak-N (NH <sub>3</sub> -N)-Gehalt in % der TS bzw. % Ges.-N; Mittelwert und Spannweite .....	87
Tabelle 26: Merkmale der Gärqualität von Silagen aus nitratarmem Grünfutter (Grasmischungen aus unterschiedlichen Nutzungsvarianten) Mittelwerte für je einen Silierversuch aus 3 Parallelansätzen (n=3).....	89
Tabelle 27: Gärqualität der Silagen von Grasmischungen unterschiedlicher Nutzungsintensität nach Vergärbarkeit (VK) und Aufwuchs; Milchsäure (MS), Buttersäure (BS), Gesamtsäure (GS) in % der TS; Mittelwert und Spannweite .....	90
Tabelle 28: Essigsäuregehalt der Silagen aus <i>D.glom.</i> und <i>F.spec.</i> bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B nach Klassen der Vergärbarkeit; Mittelwert und Spannweite (1993-1996).....	94
Tabelle 29: Häufigkeit BS-haltiger Silagen aus nitratarmem Grünfutter ( <i>D.glom.</i> und <i>F.spec.</i> ) bei Zusatz verschiedener Siliermittel (1993-1996) .....	101
Tabelle 30: Mittlerer Buttersäuregehalt (BS <sub>Ges.</sub> ) in Silagen aus nitratarmem Grünfutter ( <i>D.glom.</i> und <i>F.spec.</i> ) bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz (1995).....	102
Tabelle 31: Essigsäure-, Ammoniak- und Alkoholgehalt der Silagen aus <i>D.glom.</i> und <i>F.spec.</i> bei Clostridiensporenzusatz ; Mittelwert und Spannweite (1995).....	103
Tabelle 32: Merkmale der Gärqualität nach Noten bei Bewertung nach DLG- Schlüssel 1992 (WEIßBACH und HONIG); Silagen ohne bzw. mit MSB, AS n=342 .....	105
Tabelle 33: Merkmale der Gärqualität nach Noten bei Bewertung nach DLG- Schlüssel 1992 (WEIßBACH und HONIG); Silagen mit nitrithaltigem Siliermittel n=69 .....	106
Tabelle 34: Merkmale der Gärqualität nach Noten bei Bewertung nach DLG-Schlüssel 1999 (WEIßBACH und HONIG); Silagen ohne bzw. mit MSB, AS n = 342 .....	107
Tabelle 35: Merkmale der Gärqualität nach Noten bei Bewertung nach DLG-Schlüssel 1999 (WEIßBACH und HONIG); Silagen mit nitrithaltigem Siliermittel n = 69 .....	108
Tabelle 36: Z/PK- Quotienten des Grünfutters ( <i>D.glom.</i> und <i>F.Spec.</i> ), 1993 - 1996 (Spannweite) ....	115
Tabelle 37: Clostridiensporengehalt (MPN /g FM) im Grünfutter, <i>D.glom.</i> und <i>F.spec.</i> , 1995 und 1996 .....	117
Tabelle 38: Natürlicher Laktobakterienbesatz (KBE / g FM) des Grünfutters, <i>D.glom.</i> und <i>F.spec.</i> , 1996 .....	117
Tabelle 39: Ausgewählte Parameter der Vergärbarkeit von <i>D.glom.</i> und <i>F.spec.</i> sowie der Gärqualität der Silagen bei unterschiedlichem Laktobakterien-besatz (Versuche 1996) .....	118
Tabelle 40: Chemische Zusammensetzung des Grünfutters (Grasmischungen, 1998) und Vergärbarkeit nach Aufwuchs und Nutzungsregime .....	121
Tabelle 41: Clostridiensporengehalt im Grünfutter (Grasmischungen, 1998) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität.....	122
Tabelle 42: Natürlicher Laktobakterienbesatz des Grünfutters (Grasmischungen, 1998) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität .....	122
Tabelle 43: Ausgewählte Parameter der Vergärbarkeit von Grasmischungen sowie der Gärqualität der Silagen bei unterschiedlichem Laktobakterienbesatz (Versuche 1998).....	123
Tabelle 44: Ergebnisse zu Vergärbarkeit und Gärqualität der Silagen aus unterschiedlichen Nutzungsvarianten im Vergleich .....	124

## 1 Einleitung

Voraussetzung für hohe Milchleistung und Milchqualität ist eine hohe Grundfutterqualität. Den Hauptanteil des Grundfutters bilden Grünfuttersilagen, die zunehmend nicht nur im Winterhalbjahr, sondern auch während der Sommerstallhaltung eingesetzt werden. Eine hohe Futteraufnahme ist nur bei Silagen guter Gärqualität zu erwarten. Fehlgärungen, bei denen sich unerwünschte Mikroorganismen stark vermehren, gefährden außerdem sowohl die Tiergesundheit als auch die Milchqualität. Desweiteren steigen durch den Abbau verdaulicher Nährstoffe die Verluste und die Energiekonzentration sinkt erheblich.

Erfahrungen aus der Praxis in den letzten Jahren zeigten, daß bei der Silierung mit einer Verschlechterung der Vergärbarkeit von Grünfutter und der Gärqualität zu rechnen ist. Diese Tendenz war insofern unerwartet, da mit der flächendeckenden Einführung des Verfahrens der Welksilageproduktion, gute Siliertechnik vorausgesetzt, fahlgärungsfreie Silagen vermeidbar sein sollten.

Bei der Grünfuttersilierung kommt dem Ausgangsmaterial und seiner chemischen Zusammensetzung, insbesondere Trockensubstanz(TS)-Gehalt und Verhältnis von Zuckergehalt zu Pufferkapazität (Z/PK), im Hinblick auf den Gärungsverlauf und die Gärqualität am Ende der Konservierung besondere Bedeutung zu.

Aus der Literatur sind weiterhin Versuchsergebnisse bekannt, nach denen auch das Nitrat zu den pflanzlichen Inhaltsstoffen gehört, die einen Einfluß auf den Gärungsverlauf ausüben können. Die Höhe des Nitratgehaltes im Grünfutter ist von den Wachstums- und Nutzungsbedingungen der Pflanzenbestände abhängig. Bisher waren insbesondere hohe Nitratgehalte in den Futterpflanzen von Interesse (NIENSTEDT, 1966), da sie bei Frischverfütterung zu Vergiftungen bei Tieren führen können.

Hohe Nitratgehalte gefährden außerdem bei der Silierung den Konservierungserfolg (KAISER, 1981). Aus den Untersuchungen von KAISER (1981) ist weiterhin bekannt, daß mittlere Nitratgehalte im Siliergut von etwa 4,4 bis 13,3 g  $\text{NO}_3$  / kg TS (entspricht 0,1 bis 0,3%  $\text{NO}_3\text{-N}$  in TS), die bei intensiver Futterproduktion zu erwarten sind, positive Wirkungen auf den Konservierungserfolg haben.

Der umfassende Kenntnisstand zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen der Silierung erstreckt sich auf nitrathaltiges Grünfutter.

Die gegenwärtigen Bedingungen in der landwirtschaftlichen Praxis bei der Grünfuttererzeugung sind gekennzeichnet durch reduzierte Stickstoffdüngung und / oder Schnittverzögerung beim ersten Aufwuchs.

Umfangreiche Erhebungen in Bayern zur Höhe des Nitratgehaltes im Grünfutter unter Praxisbedingungen aus den Jahren 1994 und 1995 zeigten im Ergebnis, daß in 522 Grasproben nur ein durchschnittlicher Nitratgehalt von 1g  $\text{NO}_3$ / kg TS vorlag RUTZMOSER, SPANN ( 1995). Dabei wiesen höchstens 4 % der Proben Nitratgehalte über 5 g  $\text{NO}_3$ / kg TS auf, die im Hinblick auf Verfütterung und Tiergesundheit bereits als hoch eingeschätzt werden (VOIGTLAENDER, 1987).

In weiterführenden Untersuchungen dazu aus den Jahren 1995 - 1998 (RUTZMOSER und KAISER, unveröffentlicht) wurde festgestellt, daß bei ca. 61 % der Proben von Wiesengras des 1. und 2. Schnittes Nitratgehalte < 1,0 g  $\text{NO}_3$ / kg TS und bei ca. 28% der Proben Nitratgehalte < 4,4 g  $\text{NO}_3$ / kg TS auftraten.

Bei Erhebungen in Schleswig- Holstein wiesen 1996, 1998 und 1999 im Mittel ca. 37% der untersuchten Proben aus der Grünlandreifepfung Ende Mai Nitratgehalte unter 1,1 g  $\text{NO}_3$ / kg TS und ca. 38% der Proben Gehalte unter 4,4 g  $\text{NO}_3$ / kg TS auf (THAYSEN und KAISER, unveröffentlicht).

Diese Erhebungen bringen zum Ausdruck, daß nicht mehr hohe Nitratgehalte, sondern sehr niedrige Nitratgehalte im Grünfutter vorliegen.

Weitere Ergebnisse zur Höhe des Nitratgehaltes von Futtergräsern (RAMMER, 1996; Jahresbericht 1999; KEADY, MAYNE, FITZPATRICK, 2000; TAUBE ET AL, 2000) weisen ebenfalls darauf hin, daß unter Praxisbedingungen verbreitet mit nitratarmem Grünfutter zu rechnen ist, keineswegs nur als Folge der Extensivierung.

Negative Auswirkungen des Fehlens von Nitrat auf die Silierbarkeit von Grünfutter wurden nach in der Literatur vorliegenden Ergebnissen bereits seit längerem festgestellt (WIERINGA, 1966; HEIN, 1970;

KAISER, 1981; ATAKU, 1982). Systematische Untersuchungen sind jedoch nicht durchgeführt worden, da Nitrat im Zeitraum dieser zitierten Forschungsarbeiten als ein normalerweise immer vorhandener Bestandteil des natürlichen Grünfutters angesehen wurde.

Unter den gegenwärtigen Bedingungen muß demnach davon ausgegangen werden, daß sowohl nitrathaltiges als auch nitratarmes Grünfutter zur Silierung gelangt.

Gegenstand der Arbeit ist die Prüfung der Auswirkungen des Fehlens von Nitrat auf den Gärungsverlauf bei der Grünfuttersilierung. Desweiteren sollen die notwendigen siliertechnischen Maßnahmen bei der Silierung von nitratarmem Grünfutter abgeleitet werden.

Ziel der Arbeit ist es, die Besonderheiten des Gärungsverlaufes in nitratarmem Grünfutter festzustellen.

## 2 Wissensstand und Aufgabenstellung

Der Silierung als wichtigem Konservierungsverfahren sind in den letzten Jahrzehnten umfangreiche Untersuchungen zur Erforschung der Gärungsbedingungen, des Gärungsverlaufes sowie der Steuerung des Gärungsprozesses gewidmet worden. Dabei ist dem Ausgangsmaterial zur Silierung und seiner chemischen Zusammensetzung eine besondere Bedeutung beigemessen worden. In umfangreichen Untersuchungen wurden enge Beziehungen zwischen der Zusammensetzung des Siliergutes und dem Gärverlauf gefunden (WEISSBACH, 1968; HEIN, 1970; KAISER, 1981).

### 2.1 Nitratgehalt und Gärverlauf

Als ein wichtiges Ergebnis bei der Erforschung von Grundlagen zur Silierung wurde festgestellt, daß das Nitrat neben dem Trockensubstanzgehalt und dem Quotienten aus Zucker- und Pufferkapazität (Z/PK) von großem Einfluß auf den Gärungsverlauf ist (WIERINGA, 1966; HEIN, 1970; HEIN, 1977; KAISER, 1981; SPOELSTRA, 1983; 1985; KAISER, WEISSBACH, 1989 a und b). Das im Grünfutter enthaltene Nitrat wirkt unmittelbar auf die Stoffumsetzungen bei der Silierung, indem es während der einzelnen Phasen des Gärungsprozesses reduziert wird (KAISER, WEISSBACH, 1989 a und b). Gärungsverlauf und Nitratreduktion sind zwei direkt miteinander verknüpfte Prozesse (HEIN, WEISSBACH, 1977). Einerseits wird der Umfang der Nitratreduktion durch den Verlauf der Gärung bestimmt, andererseits wirkt das Nitrat über seine Reduktionsprodukte auf den Gärungsverlauf zurück. Die Auswirkungen der Nitratreduktion auf den Gärungsverlauf sind erstens abhängig von der Art der Reduktionsprodukte, nitrose Gase (KAISER, WEISSBACH, HAACKER, 1997) und Ammoniak (KAISER, WEISSBACH, 1988) und zweitens vom Zeitpunkt, zu dem sie entstehen.

Das im Grünfutter enthaltene Nitrat kann während der Silierung in unterschiedlichem Ausmaß abgebaut werden (HEIN, 1970; HEIN und WEISSBACH, 1977; SPOELSTRA, 1985). Der Umfang der Nitratreduktion wird dabei durch den Verlauf der Gärung bestimmt (HELLBERG, 1967; HEIN, 1970), wobei das Ausmaß des erreichten Nitratabbaus von der Azidität der Silage abhängig ist (HEIN, 1970). Während in stabil milchsäuren Silagen nur ein partieller Nitratabbau stattfindet, erfolgt in buttersäurehaltigen, verdorbenen Silagen eine vollständige Nitratreduktion (KAISER et al., 1989a).

Der Abbau des Nitrats während der Silierung verläuft im wesentlichen in zwei Phasen des Gärprozesses, zu Gärbeginn bis zur Absenkung des pH-Wertes infolge Milchsäuregärung und im Verlauf anaerober Nachgärungen während des Abbaus von Laktat.

In den ersten Gärungstagen erfolgt die Reduktion eines gewissen Anteils des Nitrats über die Zwischenstufe Nitrit zu nitrosen Gasen (BARNETT, 1953; PETERSON et al., 1958; WANG und BURRIS, 1960; HEIN, 1970; ROBERTS, 1975; SPOELSTRA, 1983; KAISER et al., 1987). Die höchste Konzentration an nitrosen Gasen wurde nach ein bis drei Tagen gefunden (ATAKU et al., 1983, SPOELSTRA, 1983). HEIN (1970) konnte nachweisen, daß in der Phase der pH-Absenkung infolge Milchsäuregärung diese Abbauprozesse bei Erreichen der stabilisierend wirkenden Aziditätsgrenze weitgehend zum Stillstand kommen.

Die Bildung nitroser Gase zu Gärbeginn führten KAISER et al. (1987) auf die Aktivität der epiphytischen Mikroflora des Grünfutters zurück. Hauptsächlich kommen dafür Enterobakterien in Betracht, deren reduzierende Wirkung auf das Nitrat seit längerem bekannt ist (SEALE et al., 1986; HENDERSON, 1987; SPOELSTRA, 1987). Mit dem Absinken des pH-Wertes infolge Milchsäuregärung stellen diese Keimgruppen ihre Tätigkeit ein (MCDONALD et al., 1991) und sind nicht mehr an weiteren Gärungsvorgängen im Verlauf der Silierung beteiligt. Die bakterielle Nitratreduktion zu nitrosen Gasen wird somit gestoppt, so daß die Bildung nitroser Gase nur in den ersten Tagen nach der Einlagerung erfolgt.

Von mehreren Autoren (ROBERTS, 1975; SPOELSTRA, 1983; 1985; WOODS et al., 1995) wurde nachgewiesen, daß ein inhibitorischer Effekt auf Clostridienaktivität durch die aus dem Nitrat gebildeten Reduktionsprodukte, Nitrit und nitrose Gase, eingetreten war. HEIN (1970) und KAISER (1981) fanden, daß bei Fehlen von Nitrat im Grünfütter mit dem Auftreten von Buttersäure bereits zu Gärbeginn gerechnet werden mußte, auch wenn Milchsäuregehalte hoch und pH-Werte dementsprechend niedrig waren. Das Auftreten von Buttersäure, das als Ausdruck von Clostridienaktivität gewertet wird (MCDONALD et al., 1991), kann demnach aufgrund der oben beschriebenen Reduktion von Nitrat zu Nitrit und nitrosen Gasen unterbunden werden, sofern ausreichend vergärbare Kohlenhydrate vorhanden sind und die stabilisierend wirkende Aziditätsgrenze erreicht wird.

HEIN (1970) hat angenommen, daß in der Hauptgärphase über die Bildung nitroser Gase hinaus bereits Ammoniak entsteht. Nach neueren Untersuchungen von POLIP et al. (1997) war die Reduktion von im Ausgangsmaterial vorhandenem Nitrat zu Ammoniak in der Hauptphase der Milchsäuregärung nicht nachzuweisen. In den Versuchen waren die Ammoniakgehalte in dieser Gärungsphase in der Silage, unabhängig vom Nitratgehalt des Ausgangsmaterials, sehr niedrig.

Dem positiven Effekt des Nitrats zu Gärbeginn steht die Freisetzung von Basenäquivalenten in Form des Ammoniaks in späteren Gärungsstadien gegenüber. Aus der Literatur ist bekannt, daß in der Phase anaerober Nachgärungen, in denen es zum Laktatabbau kommt, die Nitratreduktion bis zum Ammoniak erfolgt (HEIN, 1970; HEIN und WEIßBACH, 1977).

Die Reduktion des Nitrats kann einerseits durch zahlreiche Clostridienarten erfolgen (ISHIMOTO et al, 1974; HASAN und HALL, 1975; 1977; CRABBENDAM et al., 1985). Andererseits sind verschiedene Stämme von Laktobakterien, wie *L.casei*, *L.plantarum*, *L.fermenti* ebenfalls in der Lage, Nitrat zu reduzieren (LANGSTON und BOUMA, 1960). Die jeweiligen Bakterien nutzen bei dieser einfachen anorganischen Respiration, d.h. Energieumwandlung, in Form der Reduktion das Nitrat als Elektronenakzeptor.

Die Ergebnisse zur Nitratreduktion durch Clostridien stammen aus Versuchen (ISHIMOTO et al, 1974; HASAN und HALL, 1975; 1977; CRABBENDAM et al., 1985), die bei neutralem oder leicht alkalischem pH-Wert durchgeführt worden sind. Eine Nitratreduktion konnte nur dann nachgewiesen werden, wenn im Gärmedium ausreichend Kohlenhydrate vorhanden waren und der pH-Wert relativ hoch war. Mit sinkendem pH-Wert kam dieser Prozeß zum Erliegen.

Der Abbau des Nitrats bis zum Ammoniak während des Laktatabbaus hat eine Erhöhung der Pufferwirkung und einen Anstieg des pH-Wertes im Gärsubstrat zur Folge (HEIN, 1970). Der Anstieg der pH-Werte ist hierbei vergleichsweise viel höher als der, der dem Rückgang der Milchsäuregehalte entspricht.

Die Anwesenheit von Nitrat im Gärsubstrat ist aufgrund der Verknüpfung von Laktatabbau und Nitratreduktion von entscheidendem Einfluß auf die Art der Reaktionsprodukte des Laktatabbaus.

Nach HEIN (1970) sowie HEIN und WEIßBACH (1977) führte der Laktatabbau während der anaeroben Nachgärungen zum Anstieg der Essigsäuregehalte, solange Nitrat im Gärsubstrat vorhanden war. Bei der Bildung von Essigsäure aus Laktat werden Wasserstoffionen frei. Nitrat diente dabei offensichtlich als bevorzugter Wasserstoffakzeptor und wurde bis zum Ammoniak reduziert. Die Buttersäurebildung wurde unter diesen Bedingungen verzögert, bis Nitrat vollständig reduziert war.

Die freigesetzten Basenäquivalente in Form des Ammoniaks hatten einen Anstieg von pH-Wert und Pufferwirkung zur Folge, wodurch wiederum weitere unerwünschte Abbauvorgänge, durch insbesondere proteolytische Clostridien, begünstigt werden können. Bei diesen Fehlgärungen können demzufolge sowohl Laktat als auch Aminosäuren und Eiweiß als Substratquelle dienen und abgebaut werden.

Proteolytische Clostridien bauen Aminosäuren sowie Eiweiße (MCDONALD et al., 1991) meist auf dem Wege der Stickland-Reaktion (OHSHIMA und MCDONALD, 1978), ab. Dabei entstehen als Reaktionsprodukte flüchtige Fettsäuren, Kohlendioxid und Ammoniak (MCDONALD et al., 1991). Erhöhte Ammoniakgehalte in Silagen können demnach hauptsächlich aus der Nitratreduktion bzw. aus der Fermentation proteolytischer Clostridien stammen.



Unterschiede im Gärungsverlauf in Abhängigkeit des Nitratgehaltes wurden seit längerem diskutiert (WIERINGA, 1966; HEIN, 1970; KAARLI und LEMMING 1974; KAISER, 1981; WEIßBACH und HAACKER, 1988). Bereits WIERINGA (1966) leitete aus seinen Laborsilivversuchen mit Gras unterschiedlichen Nitratgehaltes die Schlußfolgerung ab, daß das Auftreten von Buttersäure und das Ausmaß der Buttersäuregärung von der Höhe des Nitratgehaltes im Grünfutter abhängig ist. Buttersäure war nicht nur bei sehr hohen Nitratgehalten des Grünfutters in den Silagen nachgewiesen worden, sondern auch bei sehr niedrigen Nitratgehalten im Grünfutter. Silagen aus Grünfutter mit mittleren Nitratgehalten waren dagegen buttersäurefrei. Diese Befunde deuten bereits darauf hin, daß eine gewisse Menge an Nitrat als Clostridieninhibitor zur Erzeugung buttersäurefreier Silagen erforderlich ist. WIERINGA (1966) leitete die Schlußfolgerung ab, daß Nitratgehalte von 0,1 bis 0,3 % Nitrat in der Frischmasse optimal sind. Bei der Auswertung seiner Versuche stellte er jedoch keinerlei Beziehung zu den übrigen Gärparametern des Ausgangsmaterials her.

KAISER (1981) fand bezüglich des Auftretens von Buttersäure in Abhängigkeit des Nitratgehaltes ähnliche Ergebnisse. Ableitend aus den Versuchsergebnissen wurde jedoch als optimaler Bereich 0,1 bis 0,3 % Nitrat-N in TS (4,4 bis 13,3 g Nitrat/ kg TS) angegeben, wobei diese Werte im Zusammenhang mit den übrigen Gärungsbedingungen diskutiert wurden. Bei Grünfutter, das nach TS und Z/PK als schwer vergärbare eingeschätzt wurde, war mit dem Auftreten von Buttersäure um so mehr zu rechnen, je höher der Nitratgehalt oberhalb von 0,3% Nitrat-N lag. Demgegenüber haben die Untersuchungen gezeigt, daß unterhalb von 0,1 % Nitrat-N in TS Buttersäure in Silagen bereits zu Gärbeginn vorhanden war, auch wenn nach TS und Z/PK leicht vergärbare Grünfutter vorlag und BS-freie Silagen erwartet wurden.

Weitere Ergebnisse von KAISER et al. (1994a und b, 1997a und b) hatten gezeigt, daß Buttersäuregärung in nahezu nitratfreiem Grünfutter durch Zusatz von 0,1% Ni-trat-N in TS vollständig unterbunden werden konnte. Bei einer geringeren Dosis von 0,05% war die Wirkung unsicher. Bei Fehlen oder Mangel an Nitrat ist demnach damit zu rechnen, daß der inhibitorische Effekt auf Clostridienaktivität zu Gärbeginn fehlt oder zumindest nicht ausreichend ist. Nach KAISER (1981, 1997 b) ist anzunehmen, daß die Mindestmenge an Nitrat, die als natürlicher Clostridieninhibitor wirksam wird, von den übrigen Gärungsbedingungen abhängig ist.

Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse wurde Grünfutter mit Nitratgehalten weniger als 4,4 g als mehr oder weniger nitratarm, mit Gehalten weniger 1 g  $\text{NO}_3$  / kg TS als weitgehend nitratfrei bezeichnet (KAISER et al., 1999a).

Mehrere, in den letzten Jahren publizierte, zunächst unerwartete Versuchsergebnisse hinsichtlich des Auftretens von Buttersäure in Silagen, sind offensichtlich mit dem Fehlen von Nitrat im Grünfutter zu erklären (RAHN, 1992; WEIßBACH et al., 1993; KAISER et al., 1994 a und b; WYSS und VOGEL, 1995; PÖTSCH und RESCH, 1998; WYSS, 1999, JAAKKOLA et al., 1999). Bemerkenswert ist bei diesen Ergebnissen, daß Buttersäure auch in den Silagen aufgetreten ist, bei denen nach Einschätzung der Vergärbarkeit mit Hilfe der Parameter Trockensubstanz (TS) und Quotient aus Zucker zu Pufferkapazität (Z/PK) stabile, buttersäurefreie Silagen zu erwarten waren.

WEIßBACH und HONIG (1996) werteten die Gärqualität von 295 Grassilagen im Hinblick auf den Nitratgehalt des Grünfutters aus. Sie kamen zu der Schlußfolgerung, daß ein Nitratgehalt von 0,5 g  $\text{NO}_3$ / kg TS für die Erzielung BS-freier Silagen bei Grünfutter mit guter Vergärbarkeit ( $\text{VK} > 35$ ) ausreichend ist. Als Ergebnis einer weiteren Auswertung mit 94 Silagen von Wiesenkräutern verschiedener Species wurde der Mindestnitratgehalt im Grünfutter zur Unterdrückung der Buttersäuregärung von WEIßBACH (1998) dann mit 1g  $\text{NO}_3$ / kg TS angegeben. Dieser postulierte Mindestnitratgehalt ist aus einem begrenzten, zufällig ausgewählten Datenmaterial von Silivversuchen abgeleitet worden. Ergebnisse systematischer Untersuchungen zur Höhe des notwendigen Mindestnitratgehaltes in Abhängigkeit der Vergärbarkeit des Grünfutters liegen derzeit in der Literatur nicht vor.

Offen ist bisher, ob die negativen Effekte eines Mangels oder Fehlens von Nitrat im Ausgangsmaterial zur Silierung, insbesondere die frühzeitige Buttersäurebildung, kompensiert werden können.

Nach bisherigem Kenntnisstand wird davon ausgegangen, daß durch einen schnellen pH-Abfall zu Gärbeginn infolge intensiver Milchsäurebildung gärungsschädliche Mikroorganismen und pflanzei-

gene Enzyme wirksam inhibiert werden können (BECK, 1966; McCULLOUGH, 1978; WOOLFORD, 1984; McDONALD et al., 1991). Insbesondere wird angenommen, daß durch Säuerung und einen schnellen pH-Abfall Clostridienaktivität gehemmt bzw. ein Auskeimen der Clostridiensporen wirksam verhindert werden kann (McDONALD et al., 1991). Dabei wird ein inhibitorischer Effekt von Milchsäure, bzw. auch anderer organischer Säuren, dem undissoziierten Säureanteil zugeschrieben (ADAMS und HALL, 1988; JONSSON, 1989; LINDGREN und DOBROGOSZ, 1990). Die undissoziierte Säure dringt in die Zellmembran ein und reichert sich im Zytoplasma an, wodurch das Enzymsystem der Zelle blockiert wird (THYLIN et al., 1995).

Nach McDONALD et al. (1991) kann es erst dann zu Fehlgärungen, d.h. zur Bildung von Buttersäure, Propion- oder Essigsäure, kommen, wenn das notwendige pH-Niveau zur Inhibierung von Clostridienaktivität nicht erreicht wird.

In Untersuchungen zur Säureempfindlichkeit von Clostridien stellte JONSSON (1989, 1990, 1991) fest, daß Stämme von *C.tyrobutyricum* gegenüber niedrigen pH-Werten im Vergleich zu *C.butyricum* und den proteolytischen *C.sporogenes* wesentlich toleranter waren. Ähnliche Ergebnisse wurden bereits bei WOOLFORD (1984) beschrieben. Auch THYLIN et al. (1995) gaben an, daß nur eine sehr hohe Konzentration an Milchsäure Clostridienaktivität unterdrücken konnte. Sie fanden, daß die minimale Milchsäurekonzentration zur Inhibierung von *C.tyrobutyricum* pH-abhängig ist und zwischen 150 mmol/l bis 1510 mmol/l (13,5 g MS/l bis 135,9 g MS/l) im pH-Bereich von 4,6 bis 6,25 liegt.

JONSSON (1989) fand zudem in seinen Studien, übereinstimmend mit BRYANT und BURKEY (1956), GIBSON et al. (1958), GIBSON (1965), daß die dominierende Clostridienart in Labor- und Ballen-Silagen *C.tyrobutyricum* war. Er konnte diese Clostridienart mit Hilfe einer Methode zur Messung der Laktat-Dehydrogenase-Aktivität (LDH) bestimmen, die nur von dieser Clostridienart gezeigt wird. Die Clostridienart *C.tyrobutyricum* gehört zu den saccharolytischen Clostridien (s.Tabelle1), die hauptsächlich Zucker und organische Säuren vergären (GIBSON, 1965; BECK, 1978; WOOLFORD, 1984; SPOELSTRA, 1990; McDONALD et al., 1991).

Tabelle 1: Clostridienarten in der Silage nach Hauptgärsubstrat

Zucker/ organische Säuren	Aminosäuren/ Eiweiße	Zucker/ organische Säuren u./o. Aminosäuren/ Eiweiße
<i>C.butyricum</i> <i>C.paraputrificum</i> <i>C.tyrobutyricum</i>	<i>C. bifermentans</i> <i>C. sporogenes</i>	<i>C. perfringens</i> <i>C. sphenoides</i>

Eine Möglichkeit, die erwünschte Milchsäurebildung zu fördern (PAHLOW und HONIG, 1986; LINDGREN, 1986) und den pH-Wert zu senken, stellt die Zugabe von Inoculantien dar. Die Aziditätsabhängigkeit der Clostridienentwicklung ließ bisher erwarten, daß durch eine derart beschleunigte Absenkung des pH-Wertes (GORDON, 1989; MAYNE, 1990; NESBAKKEN und BROCH-DUE, 1991; VAITIEKUNAS und ABEL, 1993; MÜLLER et al., 1993; KEADY und STEEN, 1994; KEADY and MURPHY, 1997) Clostridienaktivität, d.h. Buttersäurebildung, von Gärbeginn an unterbunden werden kann. In vielen Fällen wurden nicht nur tiefere pH-Werte in den beimpften gegenüber den Kontrollsilagen, sondern auch eine verbesserte Gärqualität festgestellt (PAHLOW und HONIG, 1986; JONSSON, 1989; JONSSON et al., 1990; MÜLLER, et al., 1991; BOLSEN et al., 1991, 1992; KALZENDORF, 1992; MERRY et al., 1997; DRIEHUIS et al., 1997). Die verbesserte Gärqualität bezieht sich dabei in erster Linie auf geringere Ethanol- und Ammoniakgehalte im Vergleich zur jeweiligen unbehandelten Variante. Wie die Ergebnisse dieser Versuche mit Zusatz von Milchsäurebakterien aber auch ausweisen, sind die Erfolge sehr unterschiedlich.

Neben vielen positiven Ergebnissen, nach denen die erwartete konservierende Wirkung erzielt wurde, gab es jedoch auch Versuche mit geringen Effekten hinsichtlich pH-Änderung, Konzentration von Ammoniak-Stickstoff und Buttersäuregehalt (MAYNE, 1990; KEADY, 1991; MÜLLER et al., 1991; KEADY et al., 1994; KEADY and MURPHY, 1996). Das zeigte deutlich, daß die Inoculantien ein begrenztes Einsatzgebiet haben und der erfolgreiche Einsatz von vielen Faktoren abhängig ist.

JONSSON (1989) verweist darauf, daß die antimikrobielle Wirkung von Inoculantien gegen Clostridien in Abhängigkeit des eingesetzten Milchsäurebakterienstammes sehr verschieden sein kann. Große Unterschiede besonders hinsichtlich der pH-Absenkung, aber auch der Nutzbarkeit der Zuckerfraktion

im Gärsubstrat und der Osmotoleranz bestehen auch nach Ergebnissen von RUSER und RUTHERFORD (1999) zwischen verschiedenen Milchsäurebakterienstämmen. ZHANG et al. (2000) stellten als Ergebnis ihrer Untersuchungen mit von Futterpflanzen isolierten MSB-Stämmen heraus, daß das Wachstum einzelner MSB-Stämme in Abhängigkeit des pH-Wertes und der Lagerungstemperatur der Silagen sehr unterschiedlich sein kann.

Aus den in der Literatur vorliegenden Ergebnissen kann abgeleitet werden, daß die wirksame Unterbindung von Clostridienaktivität bei Zusatz von Milchsäurebakterien von vielen Faktoren abhängig und nicht in jedem Falle gegeben ist.

Eine weitere Möglichkeit, den pH-Wert im Gärsubstrat zu senken und damit Clostridien möglicherweise zu hemmen, stellt die Zugabe von organischen Säuren dar. Aufgrund einer zusätzlich bakteriziden Wirkung in undissoziierter Form findet Ameisensäure als Silierzusatz breite Anwendung (LÜCK, 1985; WEIßBACH et al., 1974; O'KIELY, 1993). Allgemein wird der konservierende Effekt als Kombination der Wirkung von pH-Senkung, steigender Plasmolyse und antimikrobieller Wirkung gesehen (WOOLFORD, 1975; WINTERS et al., 1987). Bei niedrigen Applikationsmengen ist es möglich, daß ein kombinierter Effekt von Ansäuerung und antimikrobieller Wirkung eintritt, wobei in höherer Dosierung nur die starke Säuerung von Bedeutung ist (WOOLFORD, 1984; McDONALD, 1991). Bereits Weißbach et al. (1974b) konnten bei der Silierung von Futterpflanzen aus intensivem Anbau eine Optimaldosierung für Ameisensäure in Abhängigkeit vom TS-Gehalt des Grünfutters ermitteln. Sie wiesen darauf hin, daß durch Ameisensäurezusatz nicht nur Fehlgärungen, Eiweißabbau und in höheren Dosen der Abbau wasserlöslicher Kohlenhydrate unterdrückt wird, sondern auch die Milchsäurebildung drastisch reduziert wird.

Es erhebt sich die Frage, ob Ameisensäure aufgrund dieser beiden Wirkungen geeignet ist, das Fehlen von Nitrat zu kompensieren und Clostridienaktivität auszuschalten.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß in Abhängigkeit von der Höhe des Nitratgehaltes im Grünfutter der Gärungsverlauf ganz wesentlich beeinflusst wird. Die Wirkung des Nitrats in den einzelnen Phasen des Gärprozesses ist jedoch nicht losgelöst von den übrigen Gärungsbedingungen zu betrachten.

## 2.2 Vergärbarkeit von Futterpflanzen

Die Siliereignung verschiedener Futterpflanzen ist aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung sehr unterschiedlich (WEIßBACH, 1968; RÜCKER, 1986; HAIGH, 1990). Mit der Ableitung eines futterartennunabhängigen Modells zur Vorhersage des Gärungsverlaufes anhand der Merkmale Trockensubstanzgehalt (TS), Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten (Z oder WLKH) und Pufferkapazität (PK) (WEIßBACH, 1968; WEIßBACH et al., 1974a) wurde es möglich, den notwendigen Mindesttrockensubstanzgehalt zu ermitteln, oberhalb dessen bei gegebenem Z/PK-Quotienten mit Buttersäure(BS)-freien Silagen zu rechnen ist.

Die Grenzwertgleichung

$$(1) \quad TS_{\min} (\%) = 45 - 8 Z / PK$$

setzt die Wasseraktivität  $a_w$ , über den TS-Gehalt, mit dem biologischen Säuerungspotential des Pflanzenmaterials in Beziehung.

Die Pufferkapazität als Widerstand des Pflanzenmaterials gegenüber pH-Änderungen wird hauptsächlich von Proteinen und Pflanzensäuren beeinflusst (WEIßBACH, 1968). Bei den Ackerfutterpflanzen kann von einer engen positiven Korrelation zwischen Rohproteingehalt und Pufferkapazität ausgegangen werden, so daß das Rohprotein auch als der primäre Verursacher der Pufferkapazität angesehen wird (WEIßBACH, 1998; KEADY et al., 2000). Einer der entscheidenden Faktoren, der den erforderlichen TS-Gehalt des Grünfutters beeinflusst, ist das Verhältnis von Pufferkapazität zu Zuckergehalt (WEIßBACH, 1968). Nach der Beziehung (1) gibt es für jeden Z/PK-Quotienten einen Mindesttrockensubstanzgehalt des Grünfutters, der erreicht sein muß, um eine gute Silage zu erhalten. Bei bekanntem TS und

Z/PK kann demzufolge eine gute Silage erwartet werden, wenn der TS-Gehalt des Grünfutters größer als der berechnete  $TS_{\min}$ -Gehalt ist. Bei geringeren TS-Gehalten ist umgekehrt mit Verderbnis während des Silierprozesses zu rechnen. Die Gleichung kann sowohl für die Einschätzung der im Ausgangsmaterial gegebenen Vergärbarkeit, als auch zur Ableitung notwendiger siliertechnischer Maßnahmen wie Welkgrad und Siliermitteleinsatz herangezogen werden.

Aufgrund der gegebenen linearen Beziehung zwischen den Grenzwerten für TS und Z/PK können beide Parameter ineinander umgerechnet werden, um zu einem Ausdruck für die Vergärbarkeit des Grünfutters zu gelangen (SCHMIDT u.a., 1971). Bei Wahl des TS-Gehaltes als Bezugsbasis ergibt sich damit folgende Beziehung:

$$(2) \quad VK = TS (\%) + 8 Z / PK$$

In dieser Gleichung ist die Wirkung aller drei Parameter zusammengefaßt und ermöglicht so die Vorhersage der Vergärbarkeit von Futterpflanzen in den Kategorien leicht ( $VK > 45$ ), mittelschwer ( $VK 35 \dots 45$ ) und schwer vergärbare ( $VK < 35$ ). Mit Hilfe des Vergärbarkeitskoeffizienten VK kann das Risiko für die Entstehung BS-haltiger Silagen eingeschätzt und die Vergärbarkeit verschiedener Grünfuttersubstanzen direkt verglichen werden.

Dieses Modell zur Einschätzung der Vergärbarkeit wurde aus Versuchsreihen mit verschiedenen Futterpflanzen aus intensivem Anbau abgeleitet. Die Bestimmung der Grenzwerte für TS und Z/PK erfolgte durch Variation des Z/PK-Quotienten, indem Glucose zu schwer vergärbarem Ausgangsmaterial, d.h. mit geringem natürlichen Zuckeranteil, zugegeben wurde. Bei der Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Versuchen mit verschiedenen Futterpflanzen hat die Variationsbreite zugenommen.

Versuche von KAISER (1981) wurden mit dem Ziel durchgeführt, den Einfluß der Zuckerart auf die Grenzwerte der Vergärbarkeit zu prüfen. Der Z/PK-Quotient wurde variiert, indem Fructose zu schwer vergärbarem Ausgangsmaterial zugesetzt wurde. Es konnten im Vergleich zu den Versuchen mit Glucose-Zusatz keine Unterschiede festgestellt werden. Daraus wurde die Schlußfolgerung gezogen, daß die Grenzwerte nicht von der Zuckerart abhängig sind. Dieses Ergebnis war im Hinblick auf die Einschätzung der Vergärbarkeit von großer Bedeutung. Offensichtlich sind jedoch pflanzenartenabhängige Unterschiede in der Vergärbarkeit vorhanden, deren Ursachen damit aber nicht aufgeklärt werden konnten.

KAISER (1981) untersuchte in diesem Zusammenhang weiterhin die Wirkung des Nitratgehaltes auf die Grenzwerte der Vergärbarkeit. Es wurde festgestellt, daß in Silagen aus nitratfreiem Grünfutter ein anderes Gärproduktmuster am Ende der Konservierung auftrat als in nitrathaltigem Ausgangsmaterial, wobei als Grenzwert für den Nitratgehalt 0,1 % Nitrat-N in TS angegeben wurde. Oberhalb dieses Gehaltes muß danach die Wirkung des Nitrats auf die Grenzwerte der Vergärbarkeit nicht berücksichtigt werden. Im unteren Bereich sind die Grenzwerte nicht geprüft worden. Es wurde zu dieser Zeit davon ausgegangen, daß stets nitrathaltiges Grünfutter zur Silierung gelangt.

Nach Auswertung der Gärergebnisse von 295 zufällig ausgewählten Laborsilagen kamen WEIßBACH und Honig (1996) zu der Schlußfolgerung, daß für das Entstehen einer BS-freien Silage aus Grünfutter mit einem VK-Wert von über 35 mindestens 0,5 g Nitrat / kg TS oder eine Mindestkeimdicke an natürlichen Laktobakterien von mindestens  $10^5$  KBE / g FM erforderlich sind. Unterschiede im epiphytischen Keimbesatz des Grünfutters, neben Effekten von z.B. sekundären Pflanzeninhaltsstoffen, sind nach WEIßBACH (1998) die Ursache für das Entstehen von Silagen wechselnder Gärqualität unterhalb des Vergärbarkeitskoeffizienten von 45. Danach können in diesem Bereich sowohl gute als auch schlechte Silagen entstehen, wobei die Wahrscheinlichkeit für gute Silagen umso geringer wird, je kleiner der VK-Wert ist.

Für die Vorhersage des Gärungsverlaufes sind demzufolge nicht nur die Faktoren Z, PK und TS, sondern auch der Nitratgehalt und der epiphytische Keimbesatz von Bedeutung.

Im folgenden soll insbesondere auf den natürlichen Laktobakterienbesatz des Grünfutters eingegangen werden, der Hauptbestandteil des epiphytischen Keimbesatzes ist und einer großen Variabilität unterliegt (LINDGREN et al., 1985; DELLAGIO, 1985; SEALE et al., 1986; PAHLOW und HONIG, 1986; FENTON, 1987; RUSER, 1989 a und b; MUCK, 1990a und b; PAHLOW und MÜLLER, 1990; ANDRIEU und GOUET, 1991; LIN et al., 1992). In der Literatur finden sich Angaben zur Höhe des Laktobakterienbesatzes auf Gras, die meist zwischen  $10^2$  und  $10^7$  KBE/ g FM schwanken. Keimdichten von über  $10^6$  KBE / g FM sind als sehr hoch zu bezeichnen und treten natürlicherweise selten auf.

Für die große Variabilität bei den Angaben zur Höhe des natürlichen Laktobakterienbesatzes können zum Teil auch methodisch bedingte Unterschiede verantwortlich sein, die die Vergleichbarkeit der Literaturangaben untereinander erschweren. ROOKE (1990) wies darauf hin, daß insbesondere die Inkubationsmedien zur Selektion und Erfassung der Milchsäurebakterien (MSB) bezüglich des eingestellten pH-Wertes verschieden sein können.

Die epiphytische Keimdichte ist aber unabhängig von ihrer analytischen Bestimmung großen Schwankungen durch verschiedene Umweltfaktoren unterworfen. So gibt beispielsweise RUSER (1989 b) für Deutsches Weidelgras einen mittleren MSB-Besatz von  $6,6 \times 10^4$  KBE/ g FM mit einer Schwankungsbreite von  $5 \times 10^1$  bis  $5 \times 10^6$  an, wobei die Unterschiede im Keimgehalt in Abhängigkeit von Standort, Sorte und Erntetermin auftraten.

Unterschiede im MSB-Besatz zwischen einzelnen Pflanzenarten können aufgrund charakteristischer Umweltbedingungen jeder Pflanzenart hinsichtlich der Mikroflora, der Verfügbarkeit und Konzentration von Nährstoffen sowie verschiedener physikalischer Faktoren bestehen (DAESCHEL et al., 1987). Als weitere Einflußgrößen auf die Keimdichte werden von RUSER (1989b) Reifegrad, Jahreszeit, Temperatureinwirkung in Wechselwirkung mit Niederschlag und relativer Luftfeuchte sowie Globalstrahlung aufgeführt. Anhand des ortsspezifischen Klimas kann jedoch nur eine grobe Einschätzung der mittleren Keimdichte gegeben werden, die sich bei starken Abweichungen von der normalerweise vorherrschenden Witterung schnell verändern kann (RUSER, 1989 a).

Trotz der Vielzahl von Einflußfaktoren wird übereinstimmend von mehreren Autoren auf die Zunahme der Laktobakterienanzahl im Vegetationsverlauf, d.h. bei späteren Aufwüchsen bzw. mit zunehmendem Pflanzenalter, verwiesen (BECK, 1966; WEISE, 1973; LINDGREN et al., 1985; HOLDEN, 1987; RUSER, 1989 a; FEHRMANN und MÜLLER, 1990; PAHLOW, 1991). LINDGREN et al. (1985) und HOLDEN (1987) geben beispielsweise an, daß vom ersten zum zweiten Aufwuchs die Keimdichte zunimmt, zum dritten Aufwuchs dagegen wieder geringer wird. Übereinstimmend damit wird die Silierung des ersten Aufwuchses von Futtergräsern allgemein aufgrund der frühen Jahreszeit hinsichtlich der Etablierung einer stabilen epiphytischen Laktobakterienpopulation als unsicher eingeschätzt (WEISE, 1973; LINDGREN et al., 1985; FEHRMANN und MÜLLER, 1990; MÜLLER et al., 1991).

Auch die Zusammensetzung der Population schwankt sehr stark infolge äußerer Umwelteinflüsse. Die natürliche Laktobakterienpopulation kann sowohl aus homofermentativen als auch aus heterofermentativen Bakterienstämmen bestehen. Bereits WEISE (1973) stellte in Untersuchungen zum physiologischen Leistungsvermögen von epiphytischen Milchsäurebakterien fest, daß heterofermentative Arten etwa doppelt soviel Zucker umsetzen müssen wie homofermentative, um die gleiche Milchsäuremenge zu produzieren. Bei der heterofermentativen Gärung werden unter hohen Energie- und Stoffverlusten verschiedene Stoffwechselprodukte gebildet (McDONALD et al., 1991), die den pH-Wert im Gärsubstrat deutlich langsamer absenken, als bei der homofermentativen Gärung (siehe Tabelle 2).

CAI et al. (1998) fanden in Untersuchungen mit von Futtergräsern isolierten MSB-Stämmen von *Leuconostoc*, daß diese heterofermentativen Stämme die Gärqualität insgesamt nicht verbesserten und für höhere Fermentationsverluste verantwortlich waren.

Tabelle 2: Homo- und heterofermentative Milchsäure-Gärung (Übersicht)

Gärsubstrat	Gärungstyp	Reaktionsprodukte
Glucose, Fructose, Xylose, Arabinose, Citronensäure, Malonsäure	Homofermentativ	Milchsäure
	Heterofermentativ	Milchsäure, Essigsäure, Ameisensäure, Ethanol, Mannitol, Butandiol

Von mehreren Autoren ist übereinstimmend ein hoher Anteil heterofermentativer Milchsäurebakterien an der Gesamtpopulation nachgewiesen worden, dominiert von der Gattung *Leuconostoc* (MUNDT, 1970; BECK et al., 1987; Ruser, 1989 b; CAI et al., 1998; LAFRENIERE und ANTOUN, 1999).

RUSER (1989b) fand beispielsweise auf Deutschem Weidelgras im Mittel 55% homofermentative Milchsäurebakterienarten und 38 % heterofermentative Milchsäurebakterienarten (*Leuconostoc*). Es wird berichtet, daß Unterschiede in der Zusammensetzung des epiphytischen Keimbefalles in Abhängigkeit von der Witterung festzustellen waren. Ein hoher Keimbefall mit hohem Anteil homofermentativer MSB wurde bevorzugt bei warm-trockenem Klima, ein hoher Keimbefall mit überwiegend heterofermentativen MSB unter feucht-kühlen Klimabedingungen nachgewiesen.

Im Zusammenhang mit dem Anwelkprozeß als siliertechnische Maßnahme wurde die Veränderung des epiphytischen Keimbefalles detaillierter untersucht und festgestellt, daß insbesondere *L.plantarum*-Stämme gegenüber anderen Arten von Milchsäurebakterien wie Pediokokken und heterofermentativen Stämmen höhere osmotische Drücke tolerieren (LANIGAN, 1963; SPOELSTRA und HINDLE, 1989; MUCK, 1990a; RUSER, 1989a; MÜLLER et al., 1993; DRIEHUIS et al., 1997). Nach diesen Ergebnissen ist anzunehmen, daß sich infolge des Welkens die Populationszusammensetzung in Richtung eines höheren Anteils an homofermentativen Milchsäurebakterien ändert, die demzufolge bei hohen TS-Gehalten noch stoffwechselaktiv sind.

Es bleibt offen, ob bei einer Erhöhung des TS-Gehaltes die Intensität der Säuerung durch homofermentative Milchsäurebakterien zur Erzeugung BS-freier Silagen auch dann ausreichend ist, wenn Grünfütter mit sehr geringen Nitratgehalten siliert wird. Bisher wurde dem Welken aufgrund der höheren Sensitivität der Clostridien gegenüber verringerter Wasseraktivität  $a_w$  im Vergleich zu Laktobakterien besondere Bedeutung im Hinblick auf die Inhibierung der Clostridienaktivität beigemessen (WOOLFORD, 1984; McDONALD et al., 1991).

Aufgrund der hohen Variabilität der epiphytischen MSB-Population und fehlender Möglichkeiten der Einschätzung des epiphytischen MSB-Befalles kann nach derzeitigem Kenntnisstand keine exakte Prognose zu Dichte und Zusammensetzung des MSB-Befalles in Abhängigkeit von Pflanzenart, Standort und Witterung gegeben werden. Der Einfluß des epiphytischen Keimbefalles auf die Vergärbarkeit von Grünfütter ist demnach vorausschauend nicht abzuschätzen.

Unter den vorherrschenden Klimaverhältnissen ist damit zu rechnen, daß sowohl Keimdichte als auch der Anteil homofermentativer Laktobakterien sehr unterschiedlich sind.

Es wird daher empfohlen, zur Unterstützung der natürlichen MSB-Flora und der günstigen Beeinflussung des Gärverlaufes dem Siliergut MSB-Impfpräparate zuzusetzen (SPOELSTRA, 1993). Der Einsatz von leistungsfähigen Inoculantien hat seit Einführung gefriergetrockneter Präparate Mitte der achtziger Jahre eine große Bedeutung erlangt (KELLER, 1995). Nach derzeitigem Kenntnisstand wird davon ausgegangen, daß durch eine beschleunigte Milchsäuregärung und damit schnellere pH-Absenkung zu Gärbeginn unerwünschte Schadkeime wirksam unterdrückt werden können.

Unbefriedigende Ergebnisse werden auf einen Mangel an verfügbarem Gärsubstrat zurückgeführt (HONIG und PAHLOW, 1986; WEIßBACH et al., 1991; KEADY, et al., 1994; MERRY et al., 1997). Bei der Silierung von leicht vergärbarem Grünfütter, das in kurzer Zeit auf ca. 25-35% TS angewelkt wurde, ist dagegen meist von positiven Effekten berichtet worden. Nach PAHLOW (1987) beruhen die Wirkungs-

möglichkeiten biologischer Siliermittel letztlich auf der ökonomischeren, d.h. homofermentativen Verwertung von vorhandenen Pflanzenzuckern, keinesfalls auf der Kompensation von fehlendem Gärsubstrat. Diese Ergebnisse aus der Literatur führen zu der Schlußfolgerung, daß bei ausreichendem Vorrat vergärbare Kohlenhydrate im Gärsubstrat Gärungsverlauf und Gärqualität durch Inoculantien günstig beeinflusst werden können.

Im Zusammenhang mit dem epiphytischen Keimbesatz ist der für die Milchsäuregärung verfügbare Zuckergehalt von entscheidender Bedeutung für die Silierung, da er für die Mikroorganismen im Gärprozeß die Substratquelle bildet (McDONALD et al., 1991). Es wird davon ausgegangen, daß die Fraktion der wasserlöslichen und mit Anthron anfärbbaren Kohlenhydrate den größten Teil dieser Stoffe erfaßt und vollständig vergärbbar ist (WEIßBACH, 1968). Danach soll es auch möglich sein, daß mit Anthron analytisch nicht erfaßte Kohlenhydrate zur Milchsäurebildung herangezogen werden können.

Zur Fraktion wasserlöslicher Kohlenhydrate gehören Glucose und Fructose als bedeutendste Monosaccharide neben Galactose und Arabinose, Saccharose, Oligosaccharide wie Melibiose, Raffinose, Stachyose in Spuren und Fructane als hauptsächliche Reservepolysaccharide (McGRATH, 1988; PETTERSSON, 1989), die demnach als Gärsubstrat angesehen werden. Fructane können bis zu 90% der Fraktion wasserlöslicher Kohlenhydrate bilden (WINTERS et al., 1998).

Die Düngung beeinflusst über Höhe und Zeitpunkt der Stickstoffapplikation ganz wesentlich den Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten (HELLBERG, 1967). Mit zunehmendem Stickstoffangebot steigt der Trockenmasseertrag, der Blattanteil der

Pflanzen wird gesteigert (ELLES, 1989). So fanden JONES et al. (1961), REID, (1966), SPRAQUE und TAYLOR, 1970, WILSON und FLYNN (1979), PODKOWKA und POTKANSKI (1991), KEADY und O'KIELY (1996) in ihren Untersuchungen mit verschiedenen Grünfütterarten zur Silierung bei steigenden N-Gaben signifikant sinkende Gehalte an wasserlöslichen Kohlenhydraten bei steigender Pufferkapazität als Folge steigender Proteingehalte.

Offensichtlich beeinflusst die Stickstoffdüngung auch den Fructangehalt der Gräser. Mehrere Autoren konnten eine Verringerung des Fructangehaltes durch steigende Stickstoffdüngung bei zum Beispiel Lieschgras, Deutschem Weidelgras, Wiesenschwingel und Knautgras beobachten (zit. bei HOPF, 1982). Umgekehrt wurde festgestellt, daß der höchste Fructangehalt bei z. B. Wiesenrispe zu finden war, wenn keine Stickstoffdüngung gegeben wurde. Unter den gegenwärtigen Bedingungen reduzierter Stickstoffdüngung dürfte nach diesen Ergebnissen eher mit hohen Fructangehalten in den Gräsern zu rechnen sein.

Die Gehalte an Fructanen werden insgesamt beachtlich von der Ernährung der Pflanzen und zudem vom physiologischen Alter (MENGEL, 1991) beeinflusst. Am Ende der Vegetationsruhe sind die während der Vegetationsperiode akkumulierten Fructanreserven meist weitgehend erschöpft. Somit weisen die Aufwüchse im Frühjahr mehr Monomeren auf, im Sommer dagegen erhöhte Anteile Fructane. HOPF (1982) untersuchte insbesondere den Fructangehalt von Knautgras, Deutschem Weidelgras und Lieschgras und konnte ebenfalls eine „Sommerdepression“ der Zuckergehalte feststellen. Es wurde nachgewiesen, daß in allen Sorten der untersuchten Grasarten in den Herbstaufwüchsen größere Mengen an Fructanen gebildet wurden. Arttypische Unterschiede im WLKH-Gehalt der Pflanzen treten nach MORITZ (1988) hauptsächlich in der Fructanfraktion auf.

Jedoch besitzen nur wenige der pflanzeigenen Milchsäurebakterien die Fähigkeit, Fructane zu vergären (KÜHBAUCH, 1977; HOPF, 1982; SEYFARTH et al., 1993; MÜLLER und LIER, 1994; MÜLLER und STELLER, 1995; MÜLLER und SEYFARTH, 1997; WINTERS et al., 1998). Müller und Lier (1994) fanden beispielsweise weniger als 3% an MSB-Stämmen auf Gräsern, die in der Lage waren, Fructane zu fermentieren. Aus der Vielzahl dazu vorliegender Untersuchungen ist die Schlußfolgerung zu ziehen, daß fructanvergärende Stämme nur zu einem geringen Anteil auf dem Grünfütter vorhanden sind. Offensichtlich dienen den Milchsäurebakterien Fructane, die bis zu 90% in der Fraktion wasserlöslicher Kohlenhydrate vorliegen können, nicht vorrangig als Substratquelle. Analytisch werden sie jedoch in der Fraktion wasserlöslicher Kohlenhydrate erfaßt und können einen großen Anteil daran bilden.

Der Fructangehalt ist jedoch insofern für den Silierprozeß von Bedeutung, da durch einige wenige Stämme von Laktobakterien, durch pflanzliche Fructanhydrolasen oder Enzymtätigkeit anderer Mikroorganismen Fructane in Fructose oder niedermolekulare Bruchstücke der Fructane aufgespalten werden können (KÜHBAUCH und KLEEGER, 1975; HOPF, 1982; MÜLLER und LIER, 1994; MÜLLER und STELLER, 1995; MERRY et al., 1995; MÜLLER und SEYFARTH, 1997; WINTERS et al., 1998). Somit werden leicht lösliche, vergärbare Kohlenhydrate im Verlauf der Gärung nachgeliefert. In diesen Untersuchungen zeigte sich, daß ein Teil der Fructose aus der Spaltung der Fructane unmittelbar zu unterschiedlich hohen Milchsäuremengen umgesetzt wurde, wobei sich der Überschuß gebildeter Fructose im Gärmedium in unterschiedlichem Ausmaß anreicherte. Die Fructanhydrolaseaktivität ist meist im pH-Bereich zwischen pH 4,5 und 5,5 (SIMPSON und BONNET, 1993) bzw. auch bis pH 7 (WINTERS et al., 1998) nachweisbar. WINTERS et al. (1998) vermuten, daß auch Enterobakterien zu einem schnellen Fructanabbau, besonders in den ersten Tagen der Einsilierung beitragen können, da sie fructanspalende Species aufweisen. Sie beobachteten einen Anstieg der Fructose-Gehalte in frühen Stadien der Einsilierung. In der Literatur finden sich dazu jedoch keine weiteren Angaben. Sinkt der pH-Wert sehr schnell unter pH 4 ab, kann der Fructanabbau durch Hydrolasen zum Stillstand kommen, da bei sehr niedrigen pH-Werten ein inhibitorischer Effekt auf Hydrolase-Aktivität eintritt (MERRY et al., 1995).

KÜHBAUCH und KLEEGER (1975) fanden bereits Beziehungen zwischen dem Polymerisationsgrad (DP) und der mikrobiellen Abbaurate von Fructanen. Sie untersuchten Knaulgras, das überwiegend Fructane mit einem DP von 52 enthielt, und Lieschgras, das Fructane mit größtenteils DP 155 aufwies. Sie kamen zu dem Schluß, daß Laktobakterien Kohlenhydrate mit steigendem Polymerisationsgrad, insbesondere der Fructane, schlechter vergären können. WINTERS et al. (1998) berichten von Ergebnissen, nach denen niedermolekulare lösliche Kohlenhydrate, wie Glucose, Fructose und Saccharose, sehr viel effizienter als höhermolekulare Spaltprodukte der Fructanhydrolyse zur Milchsäurebildung herangezogen werden. Erst bei gezielter Zugabe spezieller fructanvergärender Stämme von *Lactobacillus paracasei* ssp. *Paracasei* konnten sie eine positive Beeinflussung des Gärungsverlaufes nachweisen.

Weiterhin ist davon auszugehen, daß durch den Bindungstyp innerhalb der Fructanmoleküle die Fructanabbaurate durch die entsprechenden MSB-Stämme beeinflusst wird. Die Fructanmoleküle können je nach Pflanzenart sowohl über  $\beta$ -2,6- als auch über  $\beta$ -2,1-Bindungen verfügen (SIMS et al., 1992; MÜLLER und SEYFARTH, 1997). MÜLLER und STELLER (1995) wiesen nach, daß diese Bindungen unterschiedlich schnell hydrolysiert wurden. SEYFARTH (1997) stellte in Untersuchungen mit fructanabbauenden Stämmen aus *Lactobacillus paracasei* ssp. *Paracasei* und Fructanen aus Wiesenlieschgras fest, daß  $\beta$ -2,6-Bindungen schneller als  $\beta$ -2,1-Bindungen aufgespalten wurden und gegenüber Saccharose nur eine geringe Hydrolyseaktivität bestand.

Je nach Pflanzenart können demzufolge bei den Fructanen sowohl Polymerisationsgrad als auch Anzahl bzw. Art von Bindungstypen variieren, die im Gärprozeß unterschiedliche Fructanabbauraten zur Folge haben.

Die in der Literatur vorliegenden neueren Ergebnisse zur Nutzbarkeit von Fructanen durch Milchsäurebakterien im Gärprozeß und zur Struktur von Fructanen in Gräsern sind im Hinblick auf die Vergärbarkeit besonders beachtenswert.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß ein Einfluß der Pflanzenart auf die Parameter der Vergärbarkeit durch den Fructangehalt im Gärsubstrat bestehen könnte.

Nach bisherigem Kenntnisstand ist offen, ob mit dem bisher verwendeten Modell, basierend auf den chemischen Parametern TS und Z/PK, der Gärungsverlauf für ni-tratarmes Grünfutter noch sicher vorhergesagt werden kann. Der Höhe und Zusammensetzung des epiphytischen Keimbefalles ist im Zusammenhang mit den Bedingungen für das Vorliegen fehlgärungsfreier, anaerob stabiler Silagen mehr Bedeutung beizumessen.



## 2.3 Aufgabenstellung

Ausgehend vom derzeitigen Kenntnisstand, daß Gärungsverlauf und Gärproduktmuster nicht nur von den Merkmalen der Vergärbarkeit TS und Z/PK, sondern auch vom Nitratgehalt des Ausgangsmaterials zur Silierung maßgeblich bestimmt werden, bestand das Ziel der vorliegenden Arbeit darin, die Besonderheiten des Gärungsverlaufes in nitratarmem bzw. weitgehend nitratfreiem Grünfutter zu prüfen. Die Auswirkungen des Fehlens von Nitrat im Ausgangsmaterial sollten im Gärverlauf bei der Silierung von verschiedenen Futterpflanzen mit jeweils unterschiedlich hohem Clostridiensporengehalt untersucht werden. Da mit dem Modell, basierend auf TS und Z/PK, der Gärungsverlauf bisher nur für herkömmliches, d.h. nitrathaltiges Grünfutter sicher vorhergesagt werden kann (WEIßBACH, 1968), sind die Bedingungen zur Einschätzung der Vergärbarkeit bzw. Gewährleistung fehlgärungsfreier Silagen aus nitratarmem Grünfutter zu charakterisieren und daraus ableitend Möglichkeiten der Steuerung des Gärprozesses in nitratarmem Grünfutter aufzuzeigen.

Der Arbeit liegen folgende Versuchsfragen zugrunde:

1. Welcher Gärverlauf und welches Gärproduktmuster am Ende der Lagerung ist bei Fehlen von Nitrat im Gärsubstrat festzustellen?  
Dazu wurden weiterhin untersucht:
  - Welche Gärqualität weisen Silagen nach 180 Tagen Lagerungsdauer von Grünfutter, das unter praxisnahen Bedingungen gewonnen wurde, auf?
  - Welche Auswirkungen hat ein erhöhter Clostridiensporenbesatz des Ausgangsmaterials bei der Silierung von nitratarmem Grünfutter?
2. Wodurch kann das Fehlen von Nitrat zur Sicherung der Gärqualität kompensiert werden ?  
Dazu wurden folgende Fragen geprüft:
  - Welche Siliermittel können zur Sicherung des Konservierungserfolges bei nitratarmem Grünfutter mit unterschiedlich hohem Clostridiensporengehalt eingesetzt werden?
  - Inwieweit wird der Effekt der Siliermittel durch Futterpflanzenart und TS-Gehalt des Grünfutters beeinflusst?
3. Welchen Veränderungen unterliegen die chemischen Parameter zur Kennzeichnung der Vergärbarkeit des Ausgangsmaterials und der epiphytische Keimbesatz bei nitratarmem Grünfutter in Abhängigkeit von Aufwuchs und Pflanzenart?
4. Können Silagen aus nitratarmem Grünfutter mit dem derzeit gültigen Beurteilungsschlüssel zutreffend bewertet werden?

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Silierversuche

##### 3.1.1 Versuche zur Dynamik des Gärungsverlaufes von nitratarmem Grünfutter

Zur Prüfung des Gärungsverlaufes von nitratarmem Grünfutter wurden im Zeitraum 1993 bis 1994 insgesamt 6 Laborsilierversuche durchgeführt. Es wurden Knautgras des ersten und zweiten Aufwuchses im Jahr 1993 sowie ein Gras- Leguminosen- Gemenge des ersten Aufwuchses 1994 in je 3 Versuchen mit geringem Clostridiensporenbesatz und in weiteren 3 Versuchen mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz einsiliert.

Bei drei Versuchen wurde das jeweilige Grünfutter unter Versuchsbedingungen sauber geerntet. In weiteren drei Versuchen wurde durch Einmischen von getrocknetem und gehäckseltem Silageabraummaterial zum jeweiligen Grünfutter ein erhöhter Clostridiensporenbesatz im Ausgangsmaterial zur Silierung eingestellt.

Bei allen Versuchen erfolgte die Silierung ohne und mit verschiedenen Zusätzen. Im Vergleich zur jeweiligen Kontrollvariante wurde der Gärungsverlauf bei Zusatz von 0,05 und 0,10 % N in Trockensubstanz in Form von Nitrat bzw. Nitrit sowie bei Zusatz von zwei Präparaten an Inoculantien und Ameisensäure untersucht.

Die Gräser erhielten zu Vegetationsbeginn eine Stickstoffdüngergabe von ca. 70 – 80 kg/ ha.

Tabelle 3: Silierversuche zur Prüfung des Gärungsverlaufes

Versuchs-Nr.	Ernte	Aufwuchs	Grünfutter
1/93	17.5.93	1.	Knautgras; sauber geerntet
3/93	18.5.93	1.	Knautgras; +Silageabraum
16/93	19.7.93	2.	Knautgras; sauber geerntet
18/93	20.7.93	2.	Knautgras; +Silageabraum
1/94	24.5.94	1.	Gras-Leguminosen-Gemenge*; sauber geerntet
2/94	25.5.94	1.	Gras-Leguminosen-Gemenge*; + Silageabraum

\*Gemäß Ertragsanteilschätzung bestand das Gras-Leguminosen-Gemenge zu ca. 80% aus Deutschem Weidelgras, 10% aus Rotklee und 5% Weißklee.

Das Grünfutter für die Silierversuche wurde von Flächen der Versuchsstation Blumberg gewonnen. Der Standort ist durch den Standorttyp D3a, die Bodenart lehmiger Sand bis sandiger Lehm gekennzeichnet. Zur Standortcharakterisierung sind in der Anhang-Tabelle 4 die Angaben zu den Bodenverhältnissen in der Versuchsstation angegeben.

#### Witterung

Die Witterung am Standort Blumberg war im ersten Versuchsjahr 1993 durch ein warmes und trockenes Frühjahr und einen kühlen und feuchten Sommer gekennzeichnet (siehe Tabelle 4). Im zweiten Versuchsjahr 1994 war das Frühjahr deutlich niederschlagsreicher bei Temperaturen, die wie im Vorjahreszeitraum über dem langjährigen Mittel lagen.

Tabelle 4: Klima- und Witterungsverhältnisse am Standort der Versuchsstation Blumberg für 1993 und 1994 (März bis August)

Temperatur <sup>1)</sup>	Langjähriges Mittel	März	April	Mai	Juni	Juli	August
	1993	3,5	10,2	15,8	15,8	16,0	15,8
	Differenz	<b>0,1</b>	<b>2,5</b>	<b>3,1</b>	<b>- 0,5</b>	<b>- 1,9</b>	<b>- 1,9</b>
	1994	5,3	8,8	12,5	15,6	21,9	18,2
	Differenz	<b>1,9</b>	<b>1,1</b>	<b>0,2</b>	<b>- 0,7</b>	<b>4,0</b>	<b>0,5</b>
1) Temperatur in 2,0 m Höhe (°C)							
Niederschlag <sup>2)</sup>	Langjähriges Mittel	März	April	Mai	Juni	Juli	August
	1993	10,7	22,3	60,9	112,8	96,1	49,5
	Differenz	<b>- 23,9</b>	<b>- 16,5</b>	<b>3,8</b>	<b>42,7</b>	<b>42,5</b>	<b>-12,2</b>
	1994	73,2	43,1	68,3	38,1	45,9	120,3
	Differenz	<b>38,6</b>	<b>4,3</b>	<b>11,2</b>	<b>- 32,0</b>	<b>-7,7</b>	<b>58,6</b>
2) Niederschlag in 1,0 m Höhe (mm)							

### Durchführung der Silierversuche

Das gemähte Pflanzenmaterial wurde mit einem Probenhäcksler kurz gehäckselt, die Menge für den gesamten Versuch gemischt und für die einzelnen Varianten davon abgenommen.

Folgende **Varianten** wurden je Versuch geprüft:

- ohne Zusatz (Kontrolle)
- mit Zusatz von 0,05 und 0,1% NO<sub>3</sub>-N in TS, als Kaliumnitrat zugesetzt
- mit Zusatz von 0,05 und 0,1% NO<sub>2</sub>-N in TS, als Natriumnitrit zugesetzt
- mit Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A, 2 Stämme von *Lactobacillus plantarum*\*
- mit Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) B, verschiedene Stämme von *Lactobacillus plantarum* und *Enterococcus faecium*\*
- \*die Dosierung erfolgte nach Herstellerempfehlung, um eine Impfdichte von mind. 10<sup>5</sup> Keimen (KBE/ g FM) einzustellen
- mit Zusatz von konz. (85%) Ameisensäure (AS); 4,6 l/t Grünfutter (entspricht 0,1 mol/ kg FM)

Die Einmischung des Silageabraummaterials für die Versuche mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz erfolgte je Variante. Dabei wurde ein Gehalt von mindestens 10<sup>3</sup> Clostridiensporen pro g FM im Siliergut angestrebt. Der Clostridiensporengehalt im Silageabraummaterial wurde zuvor analysiert und die Zusatzmenge berechnet. Der angegebene Clostridiensporengehalt im Grünfutter mit erhöhtem Besatz wurde bei den Versuchen 1993 aus der Analyse des unbehandelten Grünfutters und der Zusatzmenge des Silageabraumes berechnet. Ab 1994 erfolgte die analytische Bestimmung des Sporengehaltes im unbehandelten und im mit Silageabraum behandelten Grünfutter.

Bei den Versuchen mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz wurde zuerst der Silageabraum eingemischt, dann erst die weiteren Zusätze. Diese Silierzusätze wurden eingesprüht (Suspension der Inoculantien, Ameisensäure) bzw. eingestreut (Kaliumnitrat, Natriumnitrit).

Anschließend wurde das behandelte Grünfutter per Hand intensiv gemischt und in die Silagegefäße von Hand, schichtweise und randvoll, fest eingestopft. Vom gut durchmischten Ausgangsmaterial jeder Siliervariante wurden so viel Laborsilagegefäße (1,5 l Weckgläser mit Deckel, Ring und Spanner) gefüllt, daß die Silagen nach gestaffelter Lagerungszeit untersucht werden konnten und für jeden Untersuchungstermin zwei Laborsiloansätze zur Verfügung standen. Die Lagerungstemperatur der Ansätze

betrug 25°C.

In den Versuchen des Jahres 1993 wurden die Laborsilos nach 3, 7, 14, 28, 56 und 180 Tagen geöffnet und untersucht. In den Versuchen des Jahres 1994 wurde zusätzlich noch der 112. Tag in das Versuchsprogramm aufgenommen.

Nach Ablauf der geplanten Lagerungsdauer wurden die Laborsilos gewogen, geöffnet, sensorisch beurteilt und beprobt. Die analytische Bestimmung der Gärprodukte und WLKH erfolgte im Kaltwasserauszug.

Der Ammoniakgehalt konnte aus technischen Gründen nicht in allen Versuchen bestimmt werden. Es fehlen die  $\text{NH}_3$ -Werte der Versuche 3/93 und 18/93 sowie vom Versuch 1/93 bei den Varianten MSB A und AS.

In den Tabellen sind die Werte überwiegend mit 2 Dezimalstellen angegeben, nur im Text erfolgte die Angabe auf eine Dezimalstelle gerundet.

### 3.1.2 Versuche zur Gärqualität von Silagen nach Auslagerung und zur Vergärbarkeit von nitratarmem Grünfutter

#### 3.1.2.1 Versuche mit *Dactylis glomerata* und *Festuca species* aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität (vierjährig)

Zur Prüfung der Gärqualität von Silagen nach 180 Tagen Lagerungsdauer wurden in den Jahren 1993-1996 insgesamt 70 Laborsilivversuche mit verschiedenen Pflanzenarten und Schnittzeitpunkten durchgeführt. Die verwendeten Pflanzenarten *Dactylis glomerata* (Knautgras) und *Festuca species* (Schwingelarten) waren unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität unterworfen. Die Daten des Ausgangsmaterials zur Silierung aus diesen sehr unterschiedlichen Nutzungsvarianten wurden in einer weiteren Auswertung zur Prüfung der Vergärbarkeit von nitratarmem Grünfutter herangezogen.

Das Ausgangsmaterial stammte aus einem Feldversuch zur Umwidmung von Ackerland in Grünland, der 1992 in der Versuchsstation Pflanzenbauwissenschaften, Standort Berge, der Humboldt-Universität zu Berlin als langjähriger Versuch angelegt worden ist. Bei der Versuchsanlage handelt es sich um eine Spaltanlage mit 4-facher Wiederholung, bei der die Größe der Ernteparzellen 10 m<sup>2</sup> betrug. Aufgrund des bei

Versuchsbeginn vorliegenden Stickstoffvorrates im Boden erfolgte keine Stickstoffdüngung. Kalium und Phosphor wurden nach Nährstoffentzug gedüngt.

Das Nutzungsregime umfaßte für beide Pflanzenarten eine Variante der 3- Schnitt- Nutzung, wobei der erste Aufwuchs zum nahezu optimalen Schnittzeitpunkt geerntet wurde. Bei 3 Varianten der 2- Schnitt- Nutzung wurde jeweils zum ersten Aufwuchs der Nutzungszeitpunkt von Anfang Juni bis Mitte/Ende Juli verzögert. Das Nutzungsregime ist in Tabelle 5 als Übersicht dargestellt, die genauen Nutzungsdaten sind in Anhang-Tabelle 1 angegeben. Der erste Aufwuchs der 3-Schnitt-Nutzung 1996 wurde bei beiden Pflanzenarten nicht einsiliert.

Tabelle 5: Nutzungsregime der Feldversuche 1993-1996

	Schnittzeitpunkt ( <i>Dactylis glomerata</i> und <i>Festuca species</i> )			
	3-Schnitt-Nutzung	2-Schnitt-Nutzung		
1.Schnitt	Ende Mai	Anfang Juni	Ende Juni	Mitte Juli
2.Schnitt	Mitte Juli	Mitte August	Mitte August	Anfang Oktober
3.Schnitt	Anfang Oktober			

Zur Standortcharakterisierung des Bodens der Versuchsstation Berge sind in Anhang-Tabelle 4 Angaben enthalten.

## Witterung

Die Klima- und Witterungsverhältnisse am Standort der Versuchsstation Berge für alle vier Versuchsjahre sind in Klimadiagrammen mit Monatsmittelwerten der Temperatur und monatlichen Niederschlagssummen im Anhang, Abbildung 1, dargestellt. In Tabelle 6 sind zur Kurzcharakterisierung die durchschnittlichen Tagestemperaturen und Jahresniederschlagsmengen der vier Versuchsjahre am Standort Berge erfaßt.

Tabelle 6: Durchschnittliche Tagestemperatur in °C und Jahresniederschlagsmengen in mm, 1993 - 1996 am Standort der Versuchsstation Berge

	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>
Tagestemperatur (°C) [8,8]*	9,2	10,5	9,6	7,9
Niederschlagsmenge (mm) 503]*	639	620	590	435

\* langjähriges Mittel

Aus Tabelle 6 und Abbildung 1 im Anhang geht hervor, daß die Witterung am Standort im ersten Versuchsjahr 1993 durch ein warmes und trockenes Frühjahr mit extrem wenig Niederschlägen im März und April und einen sehr feuchten und insgesamt kühlen Sommer, mit überdurchschnittlich hohen Niederschlagsmengen im Juni, gekennzeichnet war. Die Jahresniederschlagsmenge mit 639 mm war deutlich höher als im langjährigen Mittel.

Im zweiten Versuchsjahr 1994 lagen die monatlichen Temperaturen in den Sommermonaten deutlich über den langjährigen Mittelwerten bei vergleichsweise geringen Niederschlägen im Juni und Juli. Im Jahresdurchschnitt war das Jahr ebenfalls wärmer und feuchter als die langjährigen Mittelwerte ausweisen.

Gleiches trifft für das Versuchsjahr 1995 zu. Ähnlich dem vorangegangenen Jahr lagen die Temperaturen im Sommer deutlich über den Mittelwerten. Bei ansonsten zeitlich relativ gleichmäßiger Verteilung der Niederschläge wies der Juli jedoch extrem viel Niederschlag auf.

Das letzte Versuchsjahr 1996 ist durch ein sehr trockenes Frühjahr und einen feuchten, kühlen Sommer gekennzeichnet. Bemerkenswert ist die sehr ungleiche Verteilung der Niederschläge im Jahresverlauf, wobei das Niederschlagsdefizit seit Jahresbeginn bzw. auch seit Oktober des Vorjahres sehr hoch war. Gegenüber den langjährigen Mittelwerten liegt das Jahr 1996 sowohl mit der durchschnittlichen Tagestemperatur von 7,9 als auch mit den Jahresniederschlagsmengen von 435 mm deutlich niedriger.

## Durchführung der Silierversuche

Für die Silierversuche wurde das zu den jeweiligen Schnittterminen mit dem Parzellenernter gemähte und gehäckselte Grünfutter aus den vier Wiederholungen jeder Variante gemischt und im frischen Zustand verwendet. Aufgrund des Schnittregimes wurden je Pflanzenart und Jahr 9 Silierversuche durchgeführt. Aus technischen Gründen konnte 1996 der 1. Aufwuchs der 3-Schnitt-Nutzungsvariante nicht einsiliert werden. Insgesamt standen damit 70 Versuche (2 Pflanzenarten x 4 Versuchsjahre) für die Auswertung zur Verfügung.

Im Versuchsjahr 1995 wurden zusätzlich Versuche mit erhöhtem Clostridiensporengehalt des Ausgangsmaterials aus allen Schnitt-Nutzungsvarianten siliert, so daß einjährig nochmals 9 Versuche je Pflanzenart hinzukamen. Dazu wurde Abraumsilage aus einem Praxissilo entnommen, getrocknet, gehäckselte und unmittelbar vor Silierbeginn dem frischen Grünfutter untergemischt. Der im jeweiligen Grünfutter bestimmte Clostridiensporengehalt betrug durchschnittlich in allen Versuchen 4300 MPN / g FM.

Als Siliergefäße dienten 2,0 l- bzw. 1,5 l- und 1l-Weckgläser. Im Jahr 1993 kamen 4 Parallelen (1,5 l-Gefäße) je Variante zum Ansatz. Im Jahr 1994 wurden bei den ersten 6 Versuchen 3 Parallelen (1,5 l-Gefäße), bei den übrigen 12 Versuchen 4 Parallelen (1l-Gefäße), in den Jahren 1995 und 1996 2 Parallelen (2 l-Gefäße) je Variante angesetzt.

In jedem Versuch wurden neben der Kontrolle zwei auf dem Markt befindliche Präparate von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie konzentrierte Ameisensäure (AS) entsprechend den Varianten bei den Gärverlaufsversuchen (siehe 3.1.1.) als Silierzusätze geprüft. Ab dem Jahr 1994 wurde zusätzlich ein nitrithaltiges, handelsübliches Siliermittel (NO<sub>2</sub>-SM) in die Prüfung mit einbezogen.

Folgende Präparate und Dosierungen kamen zur Anwendung:

- Milchsäurebakterien (MSB) A: zwei Stämme von *Lactobacillus plantarum*
- Milchsäurebakterien (MSB) B: verschiedene Stämme von *Lactobacillus plantarum* und *Enterococcus faecium*

Bei den MSB-Präparaten, die als Suspension zugesetzt wurden, erfolgte die Dosierung nach den Angaben des Herstellers. Die danach berechnete Impfdichte betrug jeweils  $\geq 10^5$  KBE/ g FM.

- Ameisensäure (AS) konzentriert (85%): 4,6 l / t Grünfutter (entspricht 0,1 mol / kg Frischmasse)
- Nitrithaltiges Siliermittel (NO<sub>2</sub>-SM): Natriumnitrit + Hexamethylentetramin; Handelsform; 3 l / t Grünfutter (entspricht 0,9 g NaNO<sub>2</sub> / kg Frischmasse)

Alle Zusätze wurden während des Ausschüttens der für die jeweilige Variante abgewogenen Grünfuttermenge in den Gutstrom eingesprüht. Anschließend wurde das

behandelte Grünfutter per Hand intensiv gemischt und in die Silogefäße schichtweise und randvoll von Hand fest eingestopft.

Die Lagerungstemperatur betrug 25°C. Nach einer Lagerungsdauer von 180 Tagen wurden die Laborsilos gewogen, geöffnet, sensorisch beurteilt und beprobt.

Die Parameter zur Kennzeichnung der Gärqualität (MS, ES, BS, Alkohole) sind bezogen auf % Trockensubstanz des Ausgangsmaterials (Grünfutter) angegeben. Eine TS-Bestimmung in der Silage erfolgte nicht.

### 3.1.2.2 Versuche mit Grasmischungen aus unterschiedlichen Nutzungsvarianten (einjährig)

Im Versuchsjahr 1998 wurden 20 Laborsiliversionen ohne Silierzusätze mit Grünfutter von Grünlandbeständen unterschiedlicher botanischer Zusammensetzung (Grasmischungen) durchgeführt, bei denen außer dem Nutzungsregime auch die Stickstoffdüngung variiert worden war. Die Grünlandbestände wurden in der Versuchsstation Blumberg der Humboldt-Universität seit 1996 nach dem Nutzungsregime bewirtschaftet, das dem Verbundprojekt „Umwandlung von Intensivgrünland in naturnahe Grasbestände durch extensive Bewirtschaftungsmaßnahmen“, Kurzbezeichnung „Grünland – Dauerquadrat“, zu Grunde liegt. Die Laborsiliversionen mit diesen Grünfutterarten wurden vorrangig mit dem Ziel durchgeführt, den Epiphytenbesatz (Milchsäurebakterien) und Clostridiensporengehalt auf dem zur Silierung verwendeten Grünfutter in Abhängigkeit unterschiedlicher Nutzungsintensität zu bestimmen und deren Einfluß auf Vergärbarkeit des Grünfutters und Konservierungserfolg zu prüfen.

Das Nutzungsregime der verschiedenen Flächen und Grasmischungen mit dem jeweiligen Hauptbestandsbildner ist in Tabelle 7 aufgeführt. Die Variante A wurde zu jedem Aufwuchs mit mineralischem Stickstoff 50 kg N / ha gedüngt. Bei Variante B und C erfolgte keine Düngung. Variante A und B sind weiterhin gekennzeichnet durch Nutzungsbeginn bei Weidereife und Folgeschnitte nach Entwicklungsstand. Bei Variante C war Nutzungsbeginn nach dem 1. Juli, ein 2. Schnitt erfolgte dann im Spätsommer. Das Nutzungsregime umfaßte für zwei Grasmischungen auf Fläche 5 und 6 jeweils eine 3-Schnitt- Nutzung der Variante A, eine 3-Schnitt-Nutzung der Variante B und eine 2-Schnitt-Nutzung der Variante C.

Zwei weitere Grasmischungen auf Fläche 2 und 4 wurden nur der 2-Schnitt-Nutzungsvariante unterworfen und als Ausgangsmaterial für Silierversuche einbezogen, um weitere Spätschnitte im Zusammenhang mit Siliereignung und Gärqualität zu prüfen.

Die genauen Schnittnutzungstermine der jeweiligen Aufwüchse sind aus der Anhang-Tabelle 2 ablesbar. Tabelle 3 im Anhang enthält die Zusammensetzung der Grasmischungen nach Ertragsanteilen (%) der Flächen und Varianten, geordnet nach Aufwüchsen und Schnittzeitpunkten.

Tabelle 7: Nutzungsregime (Schnittzeitpunkte und Düngungsvarianten) der Feldversuche mit Grasmischungen (1998)

Grasmischung <sup>1)</sup>	Schnittzeitpunkt								
	3-Schnitt-Nutzung			2-Schnitt-Nutzung					
	Variante A <sup>2)</sup>			Variante B <sup>3)</sup>			Variante C <sup>4)</sup>		
	Mitte Mai	Mitte Juli	Anfang Oktober	Mitte Mai	Ende Juli	Anfang Oktober	Anfang Juli	Ende September	
D.Weidelgras/Wiesenrispe/Glatthafer/Wiesenlieschgras (Fl.6)	X	X	X	X	X	X	X	X	
D.Weidelgras/Wiesenrispe (Fl.5)	X	X	X	X	X	X	X	X	
Wiesenlieschgras/ Weidelgras/ Wiesenrispe (Fl.2)							X	X	
Knautgras/Wiesenlieschgras (Fl.4)							X	X	

<sup>1)</sup> Hauptbestandsbildner zu Versuchsbeginn nach Ertragsanteilschätzung

<sup>2)</sup> Variante A: Nutzungsbeginn bei Weidereife, Folgeschnitte nach Entwicklungsstand, Düngung mit mineralischem Stickstoff, 50 kg N/ ha zu jedem Schnitt

<sup>3)</sup> Variante B: Nutzungsbeginn bei Weidereife, Folgeschnitte nach Entwicklungsstand, keine N- Düngung

<sup>4)</sup> Variante C: Nutzungsbeginn nach dem 1. Juli; 2. Schnitt im Spätsommer, keine N-Düngung

## Witterung

Einen Überblick über Verlauf von Temperatur und Niederschlag am Standort der Versuchstation Blumberg im Jahr 1998 vermitteln die im Anhang in Abbildung 2 dargestellten Klimadiagramme. Infolge des sehr milden Winters, besonders des Februars, wurde der Beginn der Vegetationsperiode bereits für den 9.2.98 berechnet. Der Sommer wies dagegen Temperaturen leicht unter den langjährigen Mittelwerten auf. Die Jahresniederschlagsmenge lag mit 540 mm in Blumberg unter dem Durchschnitt (langjähriges Mittel hier: 575 mm), wobei im Monat Oktober außergewöhnlich hohe Niederschlagsmengen zu verzeichnen waren. Es gab jedoch auch größere Niederschlagsdefizite, wie im Februar, die aber im März ausgeglichen wurden. Der Mai wies neben einem hohen Niederschlagsdefizit relativ hohe Temperaturen aus.

## Durchführung der Silierversuche

Für die Silierversuche wurde eine Menge von ca. 5 kg vom mittels Anbaumähbalken geernteten und mit einem Standhäcksler kurz gehäckselten Grünfutter abgenommen. Das Grünfutter wurde gründlich vermisch und ohne Zusätze in jeweils drei Laborsilofgefäße (1,5 l Weckgläser) fest eingestopft. Vom Siliergut wurden Proben zur chemischen Analyse des Ausgangsmaterials und zur mikrobiologischen Bestimmung von Laktobakterien und Clostridiensporen gezogen. Die Lagerungstemperatur der Ansätze betrug 25°C. Nach 180 Tagen wurden die Laborsilos gewogen, geöffnet und einzeln beprobt.

Die Gärsäuren und Alkohole sind bezogen auf % TS des Ausgangsmaterials angegeben. Eine TS-Bestimmung in der Silage erfolgte nicht.

### 3.2 Chemisch- analytische Untersuchungen von Grünfutter und Silage

Im frischen Grünfutter wurde sofort die Trockenmasse bestimmt. Die Probe zur chemischen Analyse im Grünfutter eines Versuches wurde von der Gesamtmenge des gemischten Siliergutes gezogen, gefriergetrocknet und auf 1mm Siebdurchgang gemahlen.

Tabelle 8 weist Inhaltsstoffe und die dazu verwendeten Analysenverfahren aus. Zur Charakterisierung der Vergärbarkeit des Grünfutters wurden die chemischen Parameter Trockensubstanz (TS), Zucker (Z) und Pufferkapazität (PK) sowie Nitrat analytisch erfaßt. Zur weiteren Kennzeichnung des Ausgangsmaterials zur Silierung wurden außerdem die Parameter Rohfaser (RFa), Rohprotein (RP) und Rohasche (RA) sowie als weitere Faserfraktionen in den Gärverlaufsversuchen 1993 und 1994 die Neutraldetergenzienfaser (NDF) und die Säuredetergentienfaser (ADF) bestimmt.

In der Silage wurden die Parameter pH-Wert, Gehalt an flüchtigen Fettsäuren, Alkoholen (Ethanol und Propanol), Ammoniak sowie außerdem Milchsäure aus dem wäßrigen Extrakt nach Standardlabormethoden bestimmt. Die Untersuchungsmethoden dazu sind in Tabelle 9 aufgelistet.

Die Probe für die chemische Analyse wurde bei sensorischer Übereinstimmung der Silagen in den Parallelansätzen nach dem Mischen beider Ansätze gezogen. Sofern die untersuchten Parallelansätze sensorisch bestimmbare Unterschiede aufwiesen, wurden sie einzeln beprobt und chemisch analysiert.

Die Extraktbereitung erfolgte nach Einwaage von 50 g Silage-Frischmasse, die mit 200 ml dest. Wasser und 0,5 ml Toluol versetzt und über Nacht bei 4°C aufbewahrt wurde. Bei höheren TS-Gehalten der Silage wurde die Wassermenge auf 300 ml erhöht, um eine vollständige Extraktion zu gewährleisten. Die im Extrakt bestimmten Parameter wurden mit einem Faktor, der die zur Extraktion eingesetzte Wassermenge berücksichtigt, auf % OS berechnet.

Der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten wurde ebenfalls aus dem wäßrigen Silageextrakt bestimmt.

Tabelle 8: Chemische Analysen des Grünfutters

Parameter	Methoden
Trockensubstanzgehalt:	- Vortrocknung bei 60°C; Endtrocknung 9 h bei 105°C
Wasserlösliche Kohlenhydrate (WLKH, Z):	- einstünd. Kaltwasserextraktion; Anthronmethode mit Durchflußkolorimeter (v. Lengerken und Zimmermann, 1991)
Pufferkapazität:	- Titration mit Milchsäure, ausgedrückt als Bedarf an Milchsäure (g/ kg TS) zur Einstellung auf pH 4,0 (nach Weißbach, 1992)
Nitrat-N- Gehalt:	- Xylenolmethode (v. Lengerken und Zimmermann, 1991)
Rohfaser, Neutral-und Säuredetergentienfaser	- Fibertec System
Rohprotein, Rohasche:	- nach Standardverfahren



Tabelle 9: Chemische Analysen der Silagen

Parameter	Methoden
pH-Wert:	- elektrometrisch mit Hilfe einer Glaselektrode (Meßelektrode) und Kalomelelektrode (Bezugselektrode)
Milchsäure:	- mittels HPLC (WEIß und KAISER, 1995): Fa. Kontron Instruments; Säule Polypore H, Fa. Brownlee 30x4,6 mm (Vorsäule) bzw. 220x4,6 mm ID; RI-Detektor, isokratisch
Flüchtige Fettsäuren [Essig-u.Propionsäure, Buttersäure (n-Butter-,i-Butter-,n-Valerian-,i-Valerian-,n-Caprinsäure) u. Alkohole (Ethanol u. Propanol)]:	- gaschromatographisch; MGC 4000, Fa. Angetec, Kapillarsäule „PermaBond“ FFAP 25 x 0,32 mm; Doppel- FID; temperaturprogrammiert
Ammoniakgehalt:	- nach Conway (v.LENGERKEN und ZIMMERMANN, 1991)
Wasserlösliche Kohlenhydrate (WLKH, Z):	- einstünd. Kaltwasserextraktion; Anthronmethode mit Durchflußkolorimeter (v.LENGERKEN und ZIMMERMANN, 1991)

### 3.3 Mikrobiologische Untersuchungen

Die Bestimmung des Clostridiensporengehaltes im Grünfutter erfolgte aus der eingefrorenen Probe bzw. im Silageabraum aus der getrockneten Probe. Ab dem Versuchsjahr 1996 wurde im frischen Grünfutter sofort die Höhe des Laktobakterienbesatzes bestimmt.

Zur mikrobiologischen Untersuchung wurden 40 g des jeweiligen Untersuchungsmaterials mit 360ml steriler Ringerlösung im Stomacher 3 min. extrahiert.

Die Bestimmung der Milchsäurebakterien erfolgte nach PAHLOW (1990) durch Kultur auf Rogosa-Agar (Merk 15525) mittels Koch'schem Plattengußverfahren. Nach einer 3-tägigen Bebrütungszeit bei 37°C unter anaeroben Bedingungen wurden hauptsächlich die Arten *Lactobacillus*, *Pediococcus* und *Leuconostoc* erfaßt. Zusätzlich wurde durch Anwendung eines Selektivagars nach SLANETZ und BARTLEY (1957) die Gattung *Enterococcus* nach 3-tägiger aerober Bebrütung bei 37°C bestimmt.

Die Clostridiensporen konnten mit Hilfe der Methode von PAHLOW (1986) und dem Hochschichtkultur-röhrchen-Verfahren analytisch nachgewiesen werden. Dazu wurde der Silagextrakt pasteurisiert (10 min. bei 80°C), unter anaeroben Verhältnissen im Kulturmedium (Reinforced Clostridial Medium) innerhalb von 5 Tagen bei 37 °C unter anaeroben Bedingungen zur Auskeimung gebracht und die Clostridiensporenzahl quantitativ mit der Methode zur Bestimmung der wahrscheinlichsten Zahl (most probable number, MPN) erfaßt (De MAN, 1983; MÜLLER und PAHLOW, 1991a).

### 3.4 Auswertung der Ergebnisse

Aus der Bestimmung wasserlöslicher Kohlenhydrate (WLKH, Z) und der Pufferkapazität wurde der Z/PK-Quotient ermittelt und zusammen mit dem Trockensubstanz- (TS)-Gehalt des Ausgangsmaterials zur Beurteilung der Vergärbarkeit nach SCHMIDT et al. (1971) herangezogen:

$$VK = TS (\%) + 8 Z / PK$$

Danach kann das Grünfutter bei VK-Werten größer 45 als leicht, bei VK-Werten von 35 bis 45 als mittelschwer und bei VK-Werten von kleiner 35 als schwer vergärbar eingestuft werden. In der vorliegenden Arbeit wurde die Vergärbarkeit nach diesen bisher gültigen Parametern eingeschätzt.

Die in der Arbeit verwendeten Angaben zu den Gärprodukten, bezogen auf % TS, sind auf den TS-Gehalt des jeweiligen Ausgangsmaterials berechnet worden. Eine Bestimmung des TS-Gehaltes in

den Silagen ist aus technischen Gründen nicht durchgeführt worden.

Bei gutem Konservierungserfolg der Silierung sind die Unterschiede in den Gehaltsangaben zu den Gärprodukten, die sich bei Verwendung des TS-Gehaltes vom Ausgangsmaterial im Vergleich zum TS-Gehalt der Silage ergeben, ohnehin nur gering. Bei Fehlgärungen in den Silagen ist zu berücksichtigen, daß der TS-Gehalt der Silage bezüglich des Gehaltes an flüchtigen Fermentationsprodukten korrigiert werden muß. In diese Korrektur gehen jedoch die entsprechenden Analysefehler der verschiedenen Methoden ein, so daß dieser korrigierte TS-Gehalt fehlerbehaftet ist.

Der Ammoniakgehalt wurde entsprechend der Größenordnung im DLG-Bewertungsschlüssel als  $\text{NH}_3\text{-N}$  in % des Gesamt-Stickstoffgehaltes berechnet. Unter der Bezeichnung Gesamt-Buttersäure oder vereinfachend nur Buttersäure wird die Summe aller Gärsäuren mit mindestens 4 C-Atomen verstanden, d.h. es wurden die Anteile n- und iso-Buttersäure sowie die höheren Homologen n-, iso-Valeriansäure und Capronsäure addiert.

Da nach der gaschromatografischen Bestimmung der flüchtigen Fettsäuren Gesamt- BS-Gehalte bis 0,1 % in der Frischmasse nicht eindeutig zu identifizieren sind, wurde der allgemein verwendete Grenzwert für buttersäurefreie Silagen mit einem BS-Gehalt von  $\leq 0,3$  % d.TS eingeführt.

Die Gärverluste (GV) wurden in % der TS-Einwaage ausgedrückt und nach WEIßBACH (1998a) auf gelöstes  $\text{CO}_2$  korrigiert und berechnet:

$$\text{GV (\%)} = 100 \times \text{MD(g)} / \text{TS-Einwaage (g)} + 2,5$$

MD...Massedifferenz

Der Konservierungserfolg der Silagen wurde mit Hilfe der DLG-Schlüssel 1992 (WEIßBACH und HONIG) sowie 1999 (WEIßBACH und HONIG) beurteilt.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Untersuchungen zum Gärungsverlauf bei der Silierung von nitratarmem Grünfütter

Die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen wurden mit dem Ziel durchgeführt, die Besonderheiten des Gärungsverlaufes bei der Silierung von nitratarmem Grünfütter an unterschiedlichen Gärsubstraten zu prüfen. Durch die Wahl verschiedener Pflanzenarten und Vegetationsstadien bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz standen sowohl chemisch als auch hinsichtlich des Mikrobensatzes sehr unterschiedliche Ausgangsmaterialien für die Silierung zur Verfügung. Durch nur geringe Düngergaben von 70 bzw. 80 kg/ha zu Vegetationsbeginn konnte sichergestellt werden, daß das Erntegut nahezu nitratfrei war.

Insgesamt standen für die Auswertung 6 Gärverlaufsversuche zur Verfügung. Die Versuche mit geringem und erhöhtem Clostridiensporenbesatz von jeweils einer Grünfütterart wurden im Abstand von einem Tag durchgeführt. Somit war das Grünfütter für die Versuche bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz hinsichtlich der chemischen Parameter nahezu identisch und wies nur Unterschiede in der Höhe des Clostridiensporengehaltes auf.

#### 4.1.1 Gärungsverlauf in Grünfütter bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz

##### 4.1.1.1 Gärungsverlauf in Grünfütter mit geringem Clostridiensporenbesatz

Das Grünfütter aller Versuche wurde sauber geerntet und hatte somit nur einen geringen Clostridiensporenbesatz. Bei Knaulgras (KG) des ersten und zweiten Aufwuchses wurden  $1,5$  bzw.  $3,0 \times 10^2$  MPN/g FM analytisch bestimmt. Beim Gras-Leguminosen-Gemenge (GLG) wurde ein Besatz von  $1,2 \times 10^3$  MPN/g FM festgestellt. Damit ist dieser Clostridiensporengehalt zwar etwas höher als in den anderen beiden Versuchen, aber in dieser Größenordnung noch als niedrig zu werten. Das zur Silierung eingesetzte Grünfütter der drei Gärverlaufsversuche wies Nitratgehalte unter  $0,5$  g  $\text{NO}_3^-$ /kg TS auf. Es ist somit als nahezu nitratfrei zu bezeichnen. Die chemische Zusammensetzung der geprüften Grünfütterpartien (siehe Tab.10) war so unterschiedlich, daß nach Einschätzung der Vergärbarkeit mit Hilfe der bekannten Parameter Trockensubstanz (TS) und Quotient aus Zuckergehalt zu Pufferkapazität (Z/PK) leicht, mittelschwer und schwer vergärbare Siliergut zur Verfügung stand.

Tabelle 10: Chemische Zusammensetzung und Clostridiensporengehalt des Ausgangsmaterials der Silierversuche (ausgewählte Parameter)  
geringer Clostridiensporenbesatz

Fütterpflanze	Schnittdatum	Vers. Nr.	TS g/kg	Clostridiensporen MPN/g FM	$\text{NO}_3^-$ g/kg TS	WLKH g/kg TS	PK g MS/kg TS	Z/PK	VK <sup>1)</sup> vergärbare
KG 1.Aufw.	17.5.93	1/93	256	$1,5 \times 10^2$	0,27	163	37	4,4	61 leicht
KG 2.Aufw.	19.7.93	16/93	197	$3,0 \times 10^2$	0,22	98	48	2,0	36 mittelschwer
GLG 1.Aufw.	24.5.94	1/94	133	$1,2 \times 10^3$	0,47	134	75	1,8	28 schwer

1)  $\text{VK} = \text{TS} (\%) + 8 \text{ Z/PK}$

In Abbildung 1 sind die Gärverläufe in den drei Silagen von KG, 1. und 2. Aufwuchs, sowie des GLG, 1. Aufwuchs, dargestellt. Zwischen den einzelnen Versuchen bestanden in den Gärungsverläufen erhebliche Unterschiede, jedoch nicht wie erwartet, entsprechend der eingeschätzten Vergärbarkeit (VK) nach TS und Z/PK.

Nach VK konnte für KG, 1. Aufwuchs, mit VK=61 eine stabile, buttersäurefreie Silage erwartet werden. Abbildung 1 zeigt aber, daß der vorliegende Gärverlauf beim Knautgras nicht mit der Einschätzung der Vergärbarkeit übereinstimmt. Trotz eines Zuckergehaltes von 163 g/ kg TS und geringer Pufferkapazität im Grünfutter fand in den ersten Gärungstagen nur eine geringe MS-Gärung bei entsprechend langsamem Rückgang des pH-Wertes statt. Am 7. Tag lagen 2,9 % Milchsäure vor, nach 28 Tagen nur noch 1,4 % Milchsäure d. TS. Diese niedrigen MS-Gehalte bei pH-Werten zwischen 4,7 und 5,1 blieben während der gesamten Lagerungsdauer erhalten.

Parallel dazu wurde Buttersäure bereits in den ersten Gärungstagen in erheblichem Ausmaß gebildet, deren Gehalt bis zum 28. Tag auf Werte von 4,8% stark anstieg. In gleichem Maße stiegen die Gärverluste von Gärbeginn bis zum 28.Tag stark an und blieben dann bis Lagerungsende ebenso wie die BS-Gehalte nahezu konstant. In diesem Zusammenhang ist auf die Ammoniakgehalte zu verweisen, die bis zum 56. Tag trotz stark gestiegener BS-Gehalte unterhalb von 10 %  $\text{NH}_3\text{-N}$  an Gesamt-N lagen und somit denen von buttersäurefreier, milchsäurehaltiger Silagen entsprechen.

Bis zu diesem Zeitpunkt bestand die Fraktion der flüchtigen Fettsäuren  $\geq \text{C}_4$  nahezu ausschließlich aus n-BS. Mit dem Anstieg der Ammoniakgehalte ab dem 56. Tag war auch eine Zunahme des Anteils der flüchtigen Fettsäuren zu verzeichnen, die im Zusammenhang mit dem Aminosäurenabbau auftreten können (iso-BS, iso-VS, n-VS und CS). Ihr Anteil betrug nach 180 Tagen ca. 30% an der Gesamt-BS.

Besondere Beachtung verdienen die extrem niedrigen ES-Gehalte, die bis zum 56. Tag, nach ausgehnter BS-Bildung, nur einen Wert von 0,8 % in TS erreichten. Der am Ende der Lagerung nachgewiesene ES-Gehalt von 2,5 % in TS erscheint ungewöhnlich hoch und könnte auf einen Analysenfehler zurückzuführen sein.

Die Alkoholgehalte stiegen auf maximal 2,3 % in TS im Verlauf der Hauptgärung an und blieben nahezu konstant bis zum Ende der Lagerung. Die wasserlöslichen Kohlenhydrate waren bereits nach 7 Tagen zu einem großen Anteil abgebaut.

Beim Versuch mit dem als mittelschwer vergärbar eingeschätzten KG des 2. Aufwuchses fand trotz unzureichender Vergärbarkeit nach TS und Z/PK und bei deutlich niedrigerem Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten gegenüber KG des 1. Aufwuchses eine intensive MS-Gärung, verbunden mit entsprechend rascher pH-Absenkung auf 4,0 statt (siehe Abb. 1). Die MS-Bildung erreichte mit Werten bis 8,4 % Milchsäure im Vergleich zum Versuch mit KG des 1. Aufwuchses ein viel größeres Ausmaß.

Trotz intensiver MS-Gärung war Buttersäure bereits in den ersten Gärungstagen, wenn auch zunächst nur in Spuren, nachweisbar. Die bis zum 180. Tag stabil milchsäuren Silagen wiesen am Ende der Lagerung ca. 1% Buttersäure auf. Die Gärverluste stiegen im Verlauf der Gärung auf ca. 6% an. Die Gesamt-BS bestand jedoch im gesamten Gärverlauf ausschließlich aus n-BS. Aminosäurenabbau hatte offensichtlich nicht stattgefunden. Dementsprechend gering war auch der Ammoniak-N-Gehalt, der im Verlauf der Gärung auf max. 7,7 %  $\text{NH}_3\text{-N}$  an Gesamt-N anstieg.

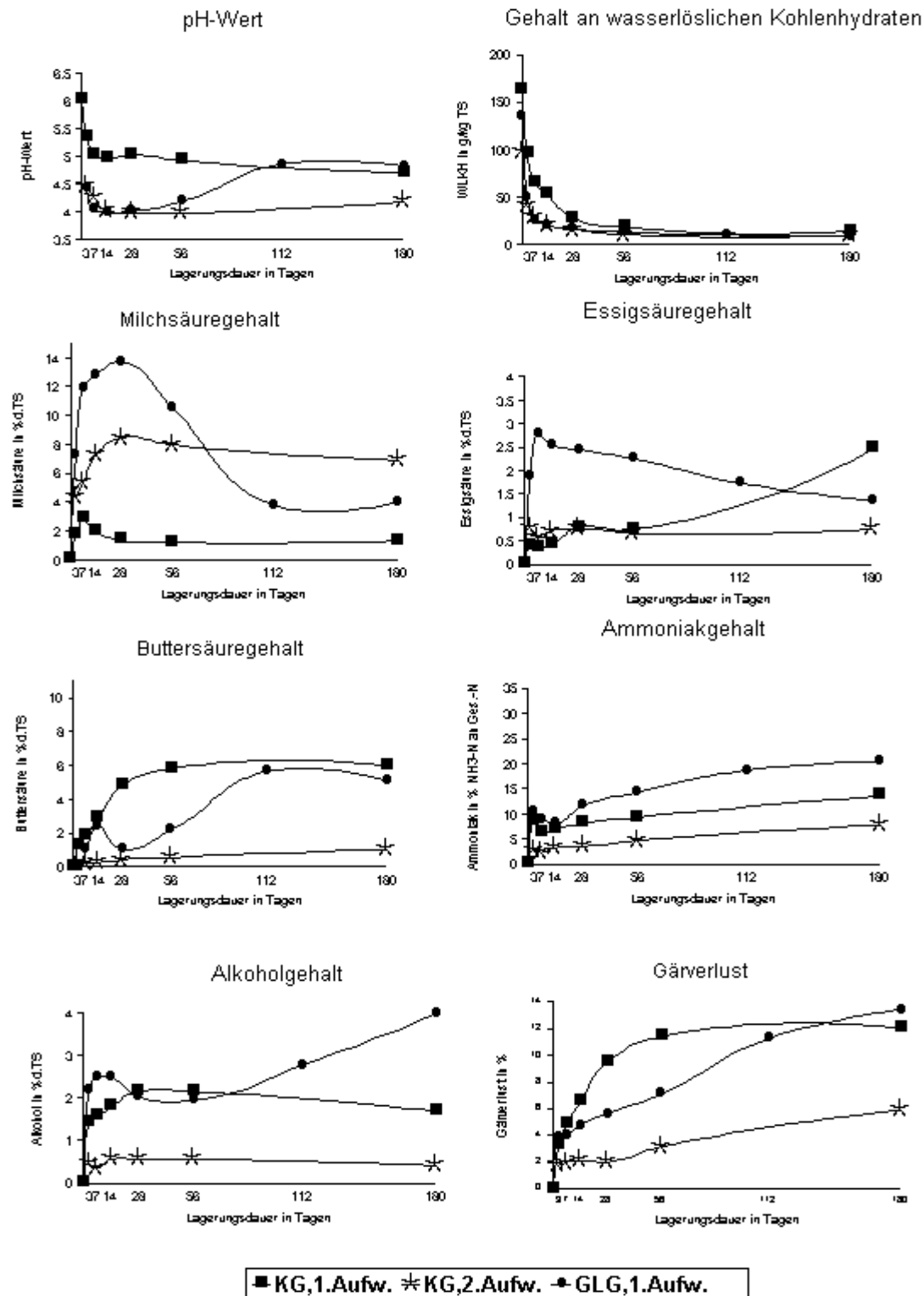


Abbildung 1: Gärungsverlauf von Grünfutter mit geringem Clostridiensporenbesatz ( $1,5 \times 10^2$  bis  $1,2 \times 10^3$  MPN/ gFM) Knaulgras (KG), 1. Aufwuchs: TS 25,6%; Z/PK 4,4; NO<sub>3</sub> 0,27g/kg; VK 61 Knaulgras (KG), 2. Aufwuchs: TS 19,7%; Z/PK 2,0; NO<sub>3</sub> 0,22g/kg; VK 36 Gras-Leguminosen-Gemenge (GLG), 1. Aufwuchs: TS 13,3%; Z/PK 1,8; NO<sub>3</sub> 0,47g/kg; VK 28

Die über die gesamte Lagerungsdauer nahezu konstanten ES-Gehalte mit Werten zwischen 0,6 und 0,8 %, ebenso die Alkoholgehalte zwischen 0,4 und 0,6 % d.TS, sind wiederum als extrem niedrig einzustufen.

Das als schwer vergärbare eingeschätzte GLG zeigte im Gärverlauf (siehe Abb. 1) eine viel ausgeprägtere MS-Gärung als KG des 1. und 2. Aufwuchses bei stärkerem pH- Rückgang. Der TS-Gehalt des Grünfutters von 13,3 % war sehr niedrig, so daß die Gärungsvorgänge dadurch intensiver abliefen. pH-Absenkung und gebildete MS-Menge von ca. 14 % Milchsäure waren jedoch nicht ausreichend für die Stabilisierung des Gärverlaufes. Nach dem 28. Tag wurde Laktat abgebaut und der pH-Wert stieg an. Das „Umkippen“ des Gärungsverlaufes konnte nicht unterbunden werden.

BS-Bildung trat aber auch hier parallel zur MS-Gärung bereits in den ersten Tagen, ungeachtet der schnellen pH-Absenkung und ausgeprägten MS-Bildung zu Gärbeginn, auf. Am 7. Tag waren 1,1% Buttersäure in TS, ausschließlich n-BS, nachzuweisen. Mit Erreichen des pH-Wertes von 4,0 stiegen die BS-Gehalte zunächst nicht weiter an. Sie nahmen erst nach dem 28. Tag im Ergebnis von Laktatabbau und pH-Wert-Erhöhung stark zu. Ebenso stiegen Ammoniakgehalte und Gärverluste ab diesem Zeitpunkt deutlich an. Die im Zusammenhang mit Aminosäurenabbau auftretenden Iso-Säuren und höheren Homologen der Buttersäure konnten erst ab dem 112. Tag nachgewiesen werden.

Die ES-Gehalte blieben auf einem sehr niedrigen Niveau. Sie stiegen trotz Laktatabbau nicht an. Es wurde offensichtlich sofort Buttersäure gebildet.

Die Alkoholgehalte, mit Werten von ca. 2,5 % stiegen im Prozeß des Umkippens auf 4,0 % an. Der Abbau wasserlöslicher Kohlenhydrate war während der ersten Gärungstage sehr intensiv abgelaufen.

Die Gesamt-BS-Gehalte waren im Gärverlauf niedriger als beim Versuch mit KG des 1. Aufwuchses, obwohl das KG als besser vergärbare eingeschätzt wurde und niedrigere Clostridiensporengehalte aufwies (siehe Tab. 10).

*Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß zwischen den Versuchen unerwartete Unterschiede im Gärungsverlauf, d.h. insbesondere hinsichtlich der MS- und BS-Gärung auftraten. Bei der Silierung des nahezu nitratfreien, clostridiensporenarmen Grünfutters wurde aber in allen Versuchen neben Milchsäure bereits in den ersten Gärungstagen Buttersäure gebildet, unabhängig von der Vergärbarkeit des Siliergutes. Die ES-Gehalte blieben dabei ungeachtet des Ausmaßes der BS-Gärung auf einem ungewöhnlich niedrigen Niveau. Im Zusammenhang mit dem Laktatabbau wurde ebenfalls kein Anstieg der ES-Gehalte festgestellt. Offensichtlich entstand unmittelbar Buttersäure. Ammoniakgehalte über 10%  $\text{NH}_3\text{-N}$  an Ges.-N waren erst im Zusammenhang mit hohen BS-Gehalten festzustellen. Die wasserlöslichen Kohlenhydrate wurden in den ersten 7 Gärungstagen sehr schnell abgebaut.*

#### 4.1.1.2 Gärungsverlauf in Grünfutter mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der drei Versuche zum Gärverlauf bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz vorgestellt. Zur Erhöhung des Clostridiensporenbesatzes wurde dem Grünfutter Silageabraum untergemischt. Somit konnte ein Clostridiensporengehalt von  $2,1$  bis  $3,5 \times 10^3$  MPN/ g FM bei allen Versuchen eingestellt werden. Der Clostridiensporenbesatz variierte damit zwischen den einzelnen Versuchen nur unwesentlich, so daß die Sporenbelastung vergleichbar ist. Das jeweilige Siliergut wurde stets einen Tag später geerntet als das Grünfutter der Versuche ohne Zusatz von Sporenmaterial und differierte in der chemischen Zusammensetzung nur geringfügig zum clostridiensporenarmen Ausgangsmaterial der unter Punkt 4.1.1.1. beschriebenen Versuche. Somit sind VK-Werte und Nitratgehalte zwischen Versuchen ohne und mit Clostridien-sporenzusatz nahezu gleich. In Tabelle 11 sind Zusammensetzung des Ausgangsmaterials und Einschätzung der Vergärbarkeit nach VK für die Versuche mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz zusammengestellt.

Tabelle 11: Chemische Zusammensetzung und Clostridiensporengehalt des Ausgangsmaterials der Silierversuche (ausgewählte Parameter); erhöhter Clostridiensporenbesatz

Futterpflanze	Schnittdatum	Vers. Nr.	TS g/kg	Clostridiensporen MPN/g FM	NO <sub>3</sub> g/kg TS	WLKH g/kg TS	PK g MS/kg TS	Z/PK	VK <sup>1)</sup> vergärbar
KG 1.Aufw.	17.5.93	3/93	294	3500	0,24	163	37	4,3	64 leicht
KG 2.Aufw.	20.7.93	18/93	215	2100	0	102	50	2,1	38 mittelschwer
GLG 1.Aufw.	24.5.94	2/94	185	2900	0,70	113	86	1,3	29 schwer

<sup>1)</sup> VK = TS (%) + 8 Z/PK

Abbildung 2 zeigt die Gärverläufe der verschiedenen Grünfütterarten mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz. Im Verlauf der Gärung von KG des 1. Aufwuchses mit fast 30 % TS und einem VK-Wert von 64 kam es ähnlich wie im Versuch mit geringer Clostridiensporenbelastung zu einer geringen MS-Gärung mit ebenfalls nur langsamem pH-Rückgang. Im Gärverlauf wurde die Milchsäure dann vollständig abgebaut. Verlauf und erreichtes Ausmaß der BS-Gärung sind trotz erhöhter Sporenzahl vergleichbar mit dem Versuch bei geringer Sporenbelastung. Auch in diesem Versuch wurde Buttersäure von Gärbeginn an in großem Umfang bis zu Gehalten von ca. 7% gebildet und blieb nach dem 56.Tag auf diesem hohen Niveau. Die Gärverluste stiegen bis zum 28.Tag stark an und blieben dann nahezu konstant. Der Anteil an Iso-Säuren und höheren Homologen stieg ebenfalls wie im Versuch mit sauberem Grünfütter erst nach dem 56. Tag an. Zum Zeitpunkt der Auslagerung waren auch hier ca. 30% iso-Säuren in der Fraktion der Gesamt-BS zu verzeichnen.

Die ES-Gehalte stiegen auf max. 1,7% in d.TS an, die Alkoholgehalte auf max. 1,9% und waren damit noch niedriger als im Versuch mit geringer Sporenzahl.

Demnach führte der höhere Clostridiensporenbesatz gegenüber dem sauber geerntetem Grünfütter während des Gärverlaufes hauptsächlich zu einer weiteren Einschränkung der MS-Bildung und einer Erhöhung der BS-Gehalte im Gärsubstrat.

Beim Versuch mit KG des 2. Aufwuchses (siehe Abb. 2) sind MS-Gärung und pH-Rückgang bis zum 28.Tag ebenfalls vergleichbar zwischen Grünfütter mit geringem

und erhöhtem Clostridiensporenbesatz. Die intensive MS-Bildung bis 7,4 % war verbunden mit einem schnellen pH-Abfall zu Gärbeginn. Auch hier wurde jedoch Buttersäure bereits zu Gärbeginn nachgewiesen. Im Gegensatz zum gering belasteten Grünfütter konnte bei diesem Versuch Clostridienaktivität im weiteren Gärverlauf nicht wirksam eingeschränkt werden. Ab dem 28. Gärungstag wurde Laktat abgebaut, pH-Wert und Gärverluste stiegen an. Buttersäure, anfangs noch in geringem Ausmaß vorhanden, wurde infolge des Laktatabbaus verstärkt gebildet. Die Gesamt-Buttersäure bestand jedoch am Ende der Lagerung noch zu 90 % aus n-BS.

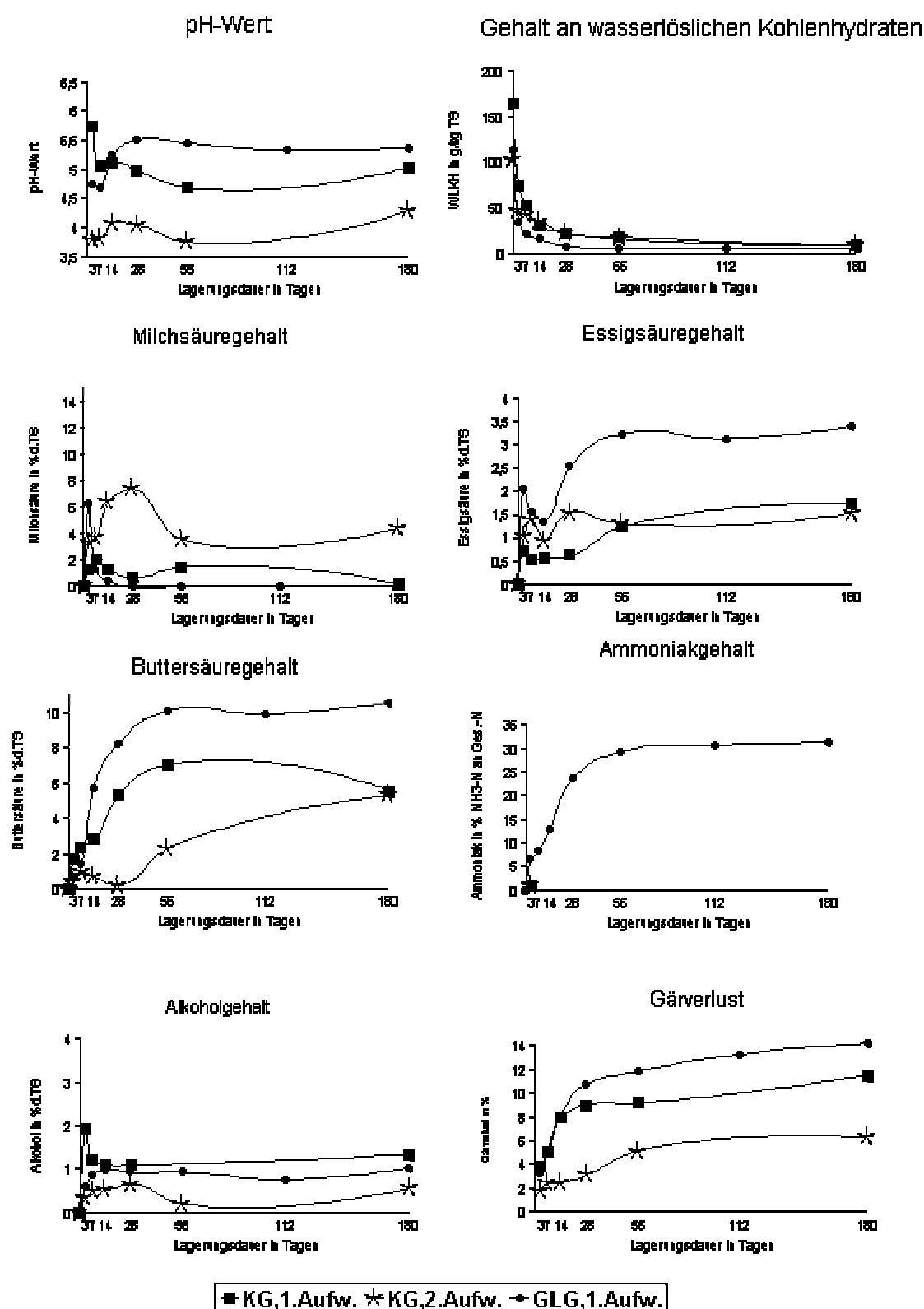


Abbildung 2: Gärungsverlauf von Grünfütter mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz ( $2,1$  bis  $3,5 \times 10^3$  MPN/ gFM) Knaulgras (KG), 1. Aufwuchs: TS 29,4%; Z/PK 4,3;  $\text{NO}_3$  0,24 g/kg; VK 64 Knaulgras (KG), 2. Aufwuchs: TS 21,5%; Z/PK 2,1;  $\text{NO}_3$  0 g/kg; VK 38 Gras-Leguminosen-Gemenge (GLG), 1. Aufwuchs: TS 18,5%; Z/PK 1,3;  $\text{NO}_3$  0,70 g/kg; VK 29



Auffällig waren auch hier im Gärverlauf die sehr niedrigen ES-Gehalte mit Werten zwischen 0,9 und 1,5 % d.TS, die auch infolge von Laktatabbau nicht anstiegen.

Die Ammoniakgehalte konnten in diesem und im Versuch mit GLG bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz aus technischen Gründen nicht analysiert werden.

Dagegen war bei dem als schwer vergärbare eingeschätzten GLG mit zusätzlicher Sporenbelastung der Gärverlauf (siehe Abb.2) nicht unerwartet. Milchsäure wurde zu Gärbeginn zwar geringfügig gebildet, der pH-Wert auch leicht abgesenkt. Jedoch war die Milchsäure nach 28 Tagen vollständig abgebaut. Die BS-Gehalte stiegen von Gärbeginn drastisch auf Werte bis ca. 10 % an. Dementsprechend stiegen auch Gärverluste bis 14 % und Ammoniakgehalte bis ca. 30 %  $\text{NH}_3\text{-N}$  an Ges.-N an. Die hohen Ammoniakgehalte weisen auf einen ausgedehnten Aminosäurenabbau hin. Im Vergleich zum GLG mit geringer Sporenbelastung lief die BS-Gärung viel intensiver und von Gärbeginn an in größerem Umfang ab. Bei diesem enormen Ausmaß der BS-Bildung gab es zwar einen Anstieg der ES-Gehalte, allerdings auch nur bis max. 3,4 %. Der Abbau wasserlöslicher Kohlenhydrate verlief besonders in den ersten 28 Tagen etwas schneller als bei beiden Knaulgrasversuchen.

*Es kann abschließend festgestellt werden, daß in den Versuchen mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz Unterschiede zwischen den Grünfütterarten bezüglich pH-Absenkung und Höhe der MS- und BS-Gehalte unabhängig von der Vergärbarkeit nach VK auftraten. Die Versuche mit dem nach VK leicht vergärbaren Knaulgras des ersten Aufwuchses sind bei unterschiedlich hoher Clostridiensporenbelastung nicht wesentlich verschieden. Dagegen sind bei den beiden anderen Versuchen im Ergebnis einer höheren Sporenbelastung andere Gärverläufe als im sauber geernteten Grünfütter aufgetreten. In allen Versuchen mit erhöhtem Sporenbesatz konnte jedoch in erheblichem Umfang Buttersäurebildung parallel zur MS-Gärung und trotz pH-Absenkung nachgewiesen werden, unabhängig von TS und Z/PK. Buttersäure wurde, zwar in unterschiedlich großem Ausmaß, im weiteren Verlauf der Gärung gebildet. In allen Verläufen waren keine erhöhten ES-Gehalte, auch nicht nach Laktatabbau, festzustellen. Die Alkoholgehalte waren sogar bemerkenswert niedrig.*

#### 4.1.1.3 Vergleich der Gärungsverläufe in Abhängigkeit von der Höhe des Clostridiensporenbesatzes

Im folgenden wird das Gärproduktmuster der Silagen aus den Versuchen bei geringer und erhöhter Clostridiensporenbelastung nach 7, 28 und 180 Tagen vergleichend gegenübergestellt (siehe Tab. 12).

Bereits in den ersten Gärungstagen (s. 7.Tag) war unabhängig von der an TS und Z/PK gemessenen Vergärbarkeit des Siliergutes und vom erreichten pH-Wert in allen Versuchen neben Milchsäure auch Buttersäure vorhanden, die nur aus n-BS bestand.

Der erhöhte Clostridiensporenbesatz führte nach 7 Tagen zu geringfügig höheren BS-Gehalten gegenüber Grünfütter mit geringer Sporenbelastung. Die MS-Gärung war dagegen schon stärker eingeschränkt. Auch die Ammoniak-N-Werte, stets unterhalb von 10% an Ges.-N, legen die Vermutung nahe, daß Aminosäuren zu Gärbeginn nicht abgebaut wurden.

Die ES-Gehalte waren insgesamt niedrig, wiesen aber hauptsächlich Unterschiede in Abhängigkeit der Pflanzenart auf.

Nach 28 Tagen zeigten sich bei den einzelnen Versuchen die Unterschiede in Abhängigkeit des Clostridiensporenbesatzes deutlicher.

Tabelle 12: Gärproduktmuster der Silagen aus nitratarmem Grünfutter bei geringem und erhöhtem Clostridiensporenbesatz nach 7, 28 und 180 Tagen

	<b>KG, 1. Aufw.</b>		<b>KG, 2. Aufw.</b>		<b>GLG, 1. Aufw.</b>	
<b>VK</b>	61	64	36	38	28	29
<b>Sporenbesatz</b>	gering	erhöht	gering	erhöht	gering	erhöht
<b>7.Tag</b>						
<b>pH</b>	5,1	5,1	4,3	3,8	4,0	4,7
<b>MS</b> %d.TS	2,9	2,0	5,4	3,7	11,9	6,8
<b>BS</b> %d.TS	1,9	2,3	0,2	0,9	1,1	1,4
<b>n-BS</b> % an BS <sub>Ges.</sub>	100	100	100	100	100	100
<b>NH<sub>3</sub>-N</b> % in Ges.-N	6,4	n.b.	2,3	n.b.	8,9	8,2
<b>ES</b> %d.TS	0,4	0,5	0,6	1,4	2,8	1,6
<b>Alk.</b> %d.TS	1,6	1,2	0,4	0,5	2,5	0,9
<b>28.Tag</b>						
<b>pH</b>	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	5,5
<b>MS</b> %d.TS	1,4	0,7	8,4	7,4	13,7	0,1
<b>BS</b> %d.TS	4,5	5,3	0,4	0,2	1,1	8,2
<b>n-BS</b> % an BS <sub>Ges.</sub>	100	94	100	100	100	70
<b>NH<sub>3</sub>-N</b> % in Ges.-N	8,1	n.b.	3,5	n.b.	11,7	23,7
<b>ES</b> %d.TS	1,6	0,6	0,8	1,5	2,4	2,5
<b>Alk.</b> %d.TS	2,3	1,1	0,6	0,7	2,0	0,9
<b>180.Tag</b>						
<b>pH</b>	4,7	5,0	4,2	4,3	4,8	5,4
<b>MS</b> %d.TS	1,3	0,2	6,9	4,4	4,0	0,0
<b>BS</b> %d.TS	5,9	5,5	1,0	5,3	5,1	10,5
<b>n-BS</b> % an BS <sub>Ges.</sub>	71	71	100	90	84	52
<b>NH<sub>3</sub>-N</b> % in Ges.-N	13,6	n.b.	7,7	n.b.	20,4	31,1
<b>ES</b> %d.TS	2,5	1,7	0,8	1,5	1,4	3,4
<b>Alk.</b> %d.TS	1,7	1,3	0,4	0,6	4,0	1,0

Bei geringer Sporenbelastung des Grünfutters waren pH-Werte und Konzentration an Milchsäure und Buttersäure bei den einzelnen Versuchen sehr unterschiedlich. Die Fraktion der Gesamt-BS bestand jedoch in allen Versuchen zu 100% aus n-BS. Die Ammoniakgehalte entsprachen denen buttersäurefreier Silagen.

Bei erhöhter Sporenbelastung ist bei KG und bei GLG des ersten Aufwuchses die MS-Gärung gegenüber den Versuchen mit geringer Sporenzahl deutlich eingeschränkt worden. Die BS-Gehalte waren hier höher und wiesen bereits Anteile an iso-Säuren und höheren Homologen der Buttersäure auf.

Sehr hohe Ammoniakgehalte traten demzufolge erst dann auf, wenn der Anteil an n-BS an der Fraktion der Gesamt-BS bereits stark reduziert war. Bei hohem BS-Gehalt, ausschließlich aus n-BS bestehend, traten Ammoniakgehalte unter 10% an N-Gesamt auf.

KG des 2. Aufwuchses unterschied sich im Gärverlauf bei geringer und erhöhter Clostridiensporenbelastung nicht wesentlich hinsichtlich des Gärproduktmusters.

Die ES-Gehalte waren nicht wesentlich im Vergleich zum 7.Tag angestiegen, auch nicht bei erhöhter Sporenbelastung.

Nach Auslagerung am 180. Tag enthielten alle Silagen von Grünfütter mit geringem Clostridiensporenbesatz Milchsäure und Buttersäure, wobei die BS-Fraktion nur bei KG des 2. Aufwuchses noch zu 100% aus n-BS bestand und entsprechend niedrige Ammoniakwerte aufwies.

In den Silagen mit erhöhtem Clostridiensporenanteil des Grünfütters war Milchsäure, außer beim als mittelschwer vergärbaren eingeschätzten KG des 2. Aufwuchses, nahezu vollständig abgebaut.

Die BS-Gehalte waren unabhängig vom Sporenbesatz mit Werten oberhalb von 5,0% sehr hoch. Silagen von KG des 2. Aufwuchses und geringem Besatz bildeten mit 1,0 % Buttersäure die Ausnahme.

Erhöhte Ammoniak-N-Anteile und rückläufige n-BS-Gehalte bei Anstieg der iso-Säuren innerhalb der Fraktion der Gesamt-Buttersäure weisen in allen anderen Versuchen auf einen Aminosäurenabbau hin.

Auffällig sind die stets niedrigen ES-Gehalte in allen Gärungsstadien und Versuchen, die auch infolge des Laktatabbaus nicht wesentlich angestiegen waren.

Die Alkoholgehalte waren nur in dem Versuch mit GLG und geringem Clostridiensporenbesatz mit Werten zwischen 2,0 und 4,0 % etwas höher. Sonst entsprachen sie den Gehalten in bisher üblichen anaerob stabilen Silagen.

*Die Einschätzung der Vergärbarkeit mit Hilfe der derzeit gültigen Parameter TS und Z/PK- Quotient führte bei dem untersuchten nitratarmen Grünfütter mit geringem Clostridiensporenbesatz, erst recht jedoch bei erhöhter Sporenbelastung, nicht zu einer sicheren Vorhersage des Gärungsverlaufes. Das Gärproduktmuster der Silagen am Ende einer 6monatigen Lagerungszeit wies eine völlig andere Zusammensetzung auf als bisher bekannt.*

#### 4.1.2 Gärungsverlauf bei Zusatz von Nitrat und Nitrit

Aus den unter 4.1.1 dargestellten Ergebnissen zur Silierung von nitratarmem Grünfütter ist abzuleiten, daß ein Mangel bzw. das weitgehende Fehlen von Nitrat im Gärsubstrat aufgrund fehlender inhibitorischer Wirkung auf Clostridien zu Gärbeginn zu wesentlich veränderten Gärungsverläufen mit anderer Gärproduktzusammensetzung am Ende der Konservierung führt.

Zur Überprüfung dieser Arbeitshypothese wurden Silierversuche mit nitratarmem Grünfütter (KG, 1. und 2. Aufwuchs, GLG, 1. Aufwuchs) jeweils mit und ohne Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Nitrat und Nitrit in unterschiedlicher Konzentration durchgeführt. Die dabei zugesetzten Mengen an Nitrat/ Nitrit sind aus den Ergebnissen von KAISER (1981) abgeleitet worden, wonach bei Nitratgehalten von  $\leq 0,1$  %  $\text{NO}_3\text{-N}$  in TS (entspricht 4,4 g  $\text{NO}_3$ / kg TS) negative Effekte auf die Gärqualität der Silagen aufgetreten waren.

Mit Nitratzusätzen von 0,1 % und 0,05 %  $\text{NO}_3\text{-N}$  in TS (entspricht 4,4 bzw. 2,2 g Nitrat/ kg TS) zu Grünfütter mit unterschiedlich hohem Clostridiensporenbesatz sollte der Frage nachgegangen werden, ob auch bei Nitratgehalten  $< 0,1$  %  $\text{NO}_3\text{-N}$  in TS in Abhängigkeit der Clostridiensporenbelastung noch Effekte auf den Gärungsverlauf nachzuweisen sind.

Als Vergleich wurden N-äquivalente Zusätze von Nitrit geprüft, dessen inhibitorische Wirkung auf Clostridien in der Literatur mehrfach nachgewiesen wurde (Lück, 1985; ROBERTS, 1975; SPOELSTRA, 1983, 1985).

Nachfolgend werden jeweils die Gärverläufe bei allen drei Grünfütterarten anhand ausgewählter Parameter bei den Zusätzen von 0,05 und 0,1 % Nitrit und Nitrat, zuerst bei geringem Clostridiensporenbesatz, dann bei erhöhtem Besatz gegenübergestellt.

#### 4.1.2.1 Gärungsverlauf in Grünfütter mit geringem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Nitrat und Nitrit

##### **Knaulgras, 1. Aufwuchs (1/93) mit geringem Clostridiensporenbesatz**

In Abbildung 3 sind die Gärverläufe von KG, 1. Aufwuchs, bei Zusatz von 0,05 und 0,1% N als Nitrat und Nitrit dargestellt. Es wird deutlich, daß bereits die geringe Menge von 0,05 % N, sowohl bei Nitrat als auch Nitrit, Auswirkungen auf den Gärungsverlauf hatte.

Während im unbehandelten Grünfütter trotz hoher Zuckergehalte kaum Milchsäure gebildet wurde und der pH-Wert nur geringfügig abgesenkt wurde, konnte mit 0,05 % Nitrat-N die MS-Gärung stimuliert werden. Dementsprechend ging der pH-Wert, wenn auch langsam, weiter zurück als in der Kontrollvariante. Am 3. Tag lagen jedoch Gehalte von 0,7 % Buttersäure vor. Während sich bei Zusatz von Nitrat pH-Rückgang und Anstieg der MS-Gehalte bis zum Gärungsende fortsetzten, erreichte die BS-Bildung ein Ausmaß von ca. 1,7 % BS, kam aber nach ca. 14 Tagen zum Stillstand.

Bei Zusatz von 0,05% N als Nitrit waren die Auswirkungen auf pH-Verlauf und MS-Gärung ähnlich wie beim Nitrat-Zusatz, jedoch war bei intensiverer MS-Gärung von Gärbeginn an der pH-Rückgang schneller. Die BS-Bildung wurde mit 0,05 % Nitrit-Zusatz vollständig unterbunden. In diesem Zusammenhang bemerkenswert ist die unterschiedliche Abbaugeschwindigkeit der Kohlenhydratfraktion und die demzufolge unterschiedlich hohen Restzuckergehalte. Bei Nitritzusatz wurden im Vergleich zu Nitrat und erst recht zur Kontrolle nur verhältnismäßig wenig wasserlösliche Kohlenhydrate im Gärverlauf abgebaut, so daß die Restzuckergehalte am Ende der Lagerung hier deutlich höher waren.

Die Zusätze von 0,1% N in TS als Nitrat oder Nitrit bewirkten im Gärverlauf ähnliche Änderungen des pH-Rückgangs sowie der MS- und BS-Gärung gegenüber der Kontrolle wie bei 0,05 % N.

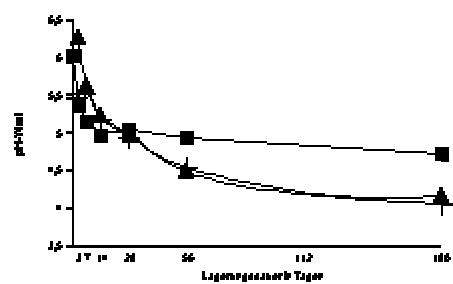
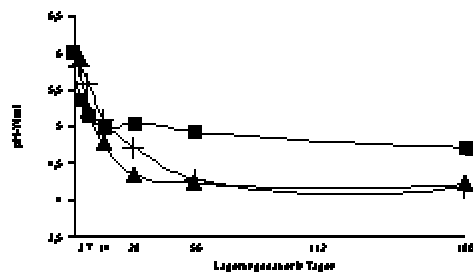
Die Wirkungen waren bei dieser Konzentration zwischen Nitrat und Nitrit nahezu gleich. Die MS-Gehalte stiegen langsam, aber kontinuierlich an. Dementsprechend ging der pH-Wert anfangs nur langsam zurück und sank erst nach dem 28. Tag schneller ab. Die starke BS-Bildung in der Kontrolle wurde aber durch beide Zusatzvarianten nahezu vollständig und von Gärbeginn an unterbunden. Die Abbauraten der Kohlenhydratfraktion und die Restzuckergehalte am Ende der Lagerung sind nahezu vergleichbar mit den Varianten bei 0,05 % Zusatz.

Abbildung 4 enthält Angaben zu weiteren Gärprodukten sowie zu den Gärverlusten in Silagen von KG des 1. Aufwuchses mit den Zusätzen von Nitrat und Nitrit nach 7 und 180 Tagen Gärung.

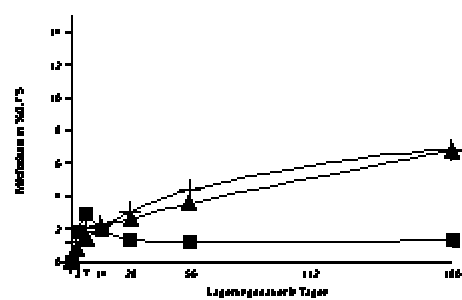
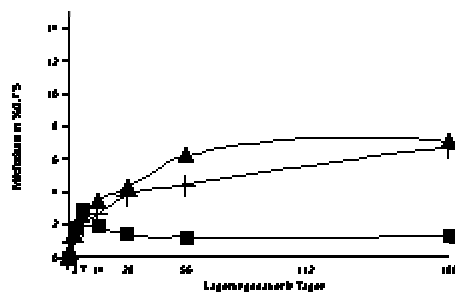
In allen Versuchen waren die ES-Gehalte bei Zusatz von Nitrat und Nitrit gegenüber der Kontrolle am 180.Tag verringert. Obwohl sie vom jeweils 7. bis 180. Tag leicht angestiegen waren, sind die ES-Gehalte insgesamt als niedrig zu werten.

Die Alkoholgehalte waren ebenfalls bereits schon am 7.Tag der Gärung gegenüber der Kontrolle in allen Varianten stark reduziert, wobei durch Nitrit im Vergleich zu Nitrat in geringerer Dosierung die Alkoholgehalte stärker eingeschränkt wurden.

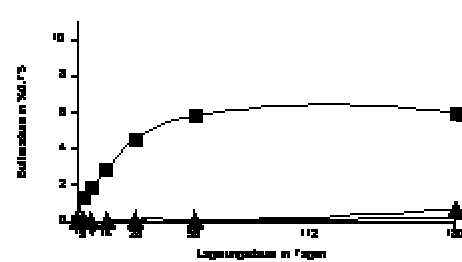
## pH-Wert



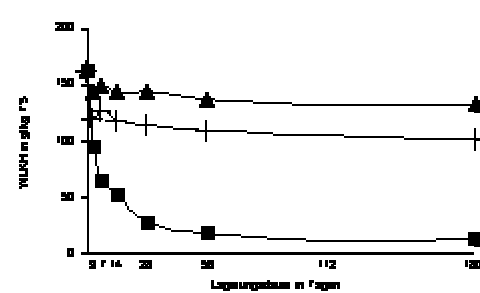
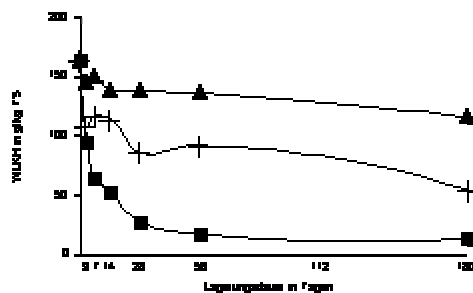
## Milchsäuregehalt



## Buttersäuregehalt



## Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten



0,05% N

0,1% N

■ Kontrolle + NO<sub>3</sub>-N ▲ NO<sub>2</sub>-N

Abbildung 3: Gärungsverlauf von Knaulgras, 1. Aufwuchs, bei Zusatz von Nitrat und Nitrit geringer Clostridiensporenbesatz ( $1,5 \times 10^2$  MPN/ g FM)

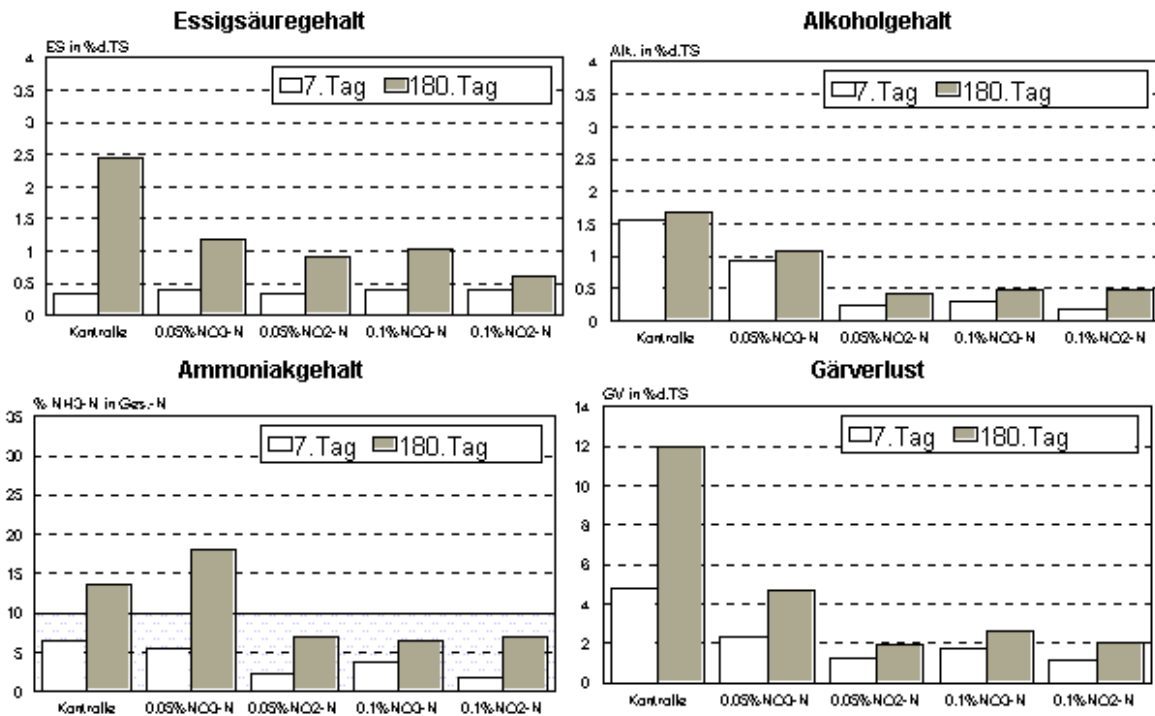


Abbildung 4: Gehalt an Essigsäure, Ammoniak und Alkohol (Ethanol+Propanol) sowie Gärverluste von Knaulgras, 1. Aufwuchs, mit geringem Clostri-diensporenbesatz bei Zusatz von Nitrat und Nitrit

In der Höhe der Ammoniakgehalte unterschied sich die Variante mit 0,05 % Nitrat dahingehend von den anderen Gärverläufen, daß nur hier am 180.Tag wie bei der Kontrolle ein Gehalt über 10% NH<sub>3</sub>-N an Ges.-N nachzuweisen war. Besonders hervorzuheben ist die starke Einschränkung der Gärverluste in allen Varianten gegenüber der Kontrolle.

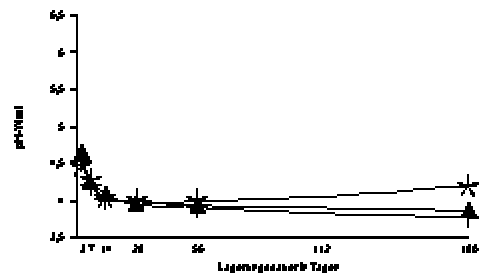
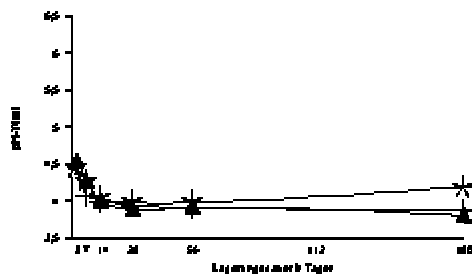
*Im Versuch mit Knaulgras des 1.Aufwuchses und geringem Clostridiensporenbesatz konnte der pH-Wert gesenkt und BS-Bildung, in der Kontrolle von Gärbeginn an vorhanden, durch den Zusatz von 0,05 % Nitrat-N stark eingeschränkt, mit 0,05 % Nitrit-N sowie 0,1% Nitrat-N und Nitrit-N nahezu vollständig unterbunden werden. Die ES- und Alkohol-Gehalte waren stets niedrig. Erhöhte NH<sub>3</sub>-Gehalte traten nur am Ende der Gärung und bei BS-Gehalten ab ca. 1,7 % auf.*

#### Knaulgras, 2. Aufwuchs (16/93) mit geringem Clostridiensporenbesatz

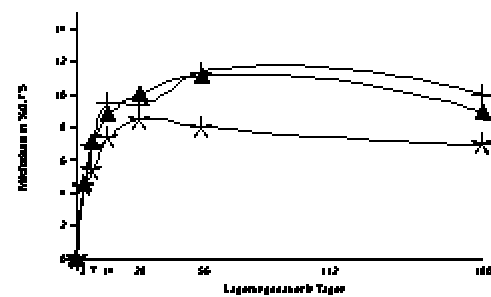
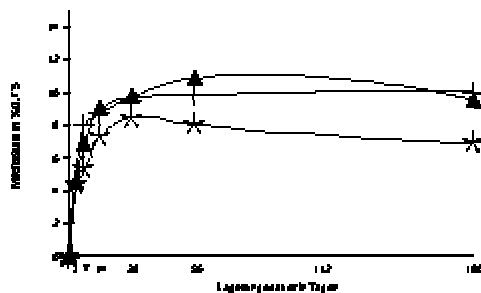
Die Ergebnisse zum Gärungsverlauf von KG des 2. Aufwuchses bei Zusatz von 0,05% und 0,1% Nitrit- und Nitrat-N, dargestellt in Abbildung 5 und 6, sind in der Tendenz mit denen des 1. Aufwuchses vergleichbar. Allerdings waren bereits in der Kontrolle ohne Zusatz pH-Rückgang und MS-Gärung ausgeprägter und BS-Bildung wesentlich geringer als beim Grünfutter des 1. Aufwuchses.

Bei diesem Grünfutter bestanden zwischen den Dosierungen der Zusätze an Nitrat und Nitrit hinsichtlich der Wirksamkeit auf den Gärverlauf keine Unterschiede. Die MS-Gärung konnte bereits in den ersten Gärungstagen durch Zusatz von Nitrit- und Nitrat-N stimuliert werden, so daß sie ein größeres Ausmaß als in der Kontrolle erreichte. Die pH-Wert-Absenkung ist bis zum 56.Tag im Verlauf vergleichbar mit der Kontrolle. Dann setzte sich der pH-Rückgang in den Silagen mit Zusatz von Nitrat/ Nitrit fort, während der pH-Wert in der Kontrolle wieder anstieg. Die zwar geringe BS-Gärung in der Kontrollvariante wurde durch Nitratzusatz, auch bei 0,05% N,

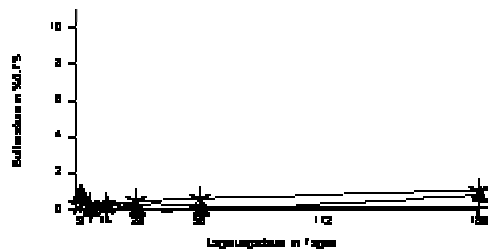
## pH-Wert



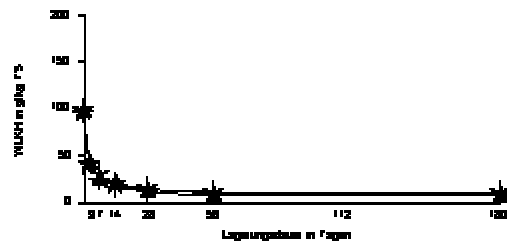
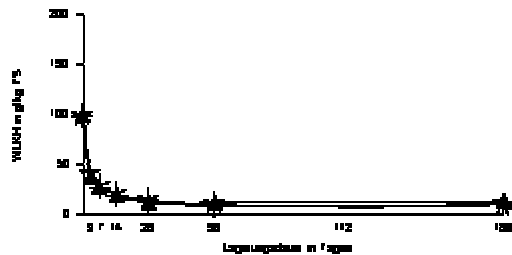
## Milchsäuregehalt



## Buttersäuregehalt



## Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten



0,05% N

★ Kontrolle +NO<sub>3</sub>-N ▲NO<sub>2</sub>-N

0,1% N

Abbildung 5: Gärungsverlauf von Knaulgras, 2. Aufwuchs, bei Zusatz von Nitrat und Nitrit geringer Clostridiensporenbesatz ( $3 \times 10^2$  MPN/ g FM)

nahezu vollständig unterbunden. In den Silagen mit Nitritzusatz wurde nach 180 Tagen ein BS-Gehalt von 0,7 und 0,8 % nachgewiesen.

Der Abbau wasserlöslicher Kohlenhydrate im Verlauf der Gärung unterscheidet sich bei allen Zusatzvarianten von den Ergebnissen des Versuches mit KG, 1. Aufwuchs. Die Abbaurate war hier bei allen Varianten und der Kontrolle nahezu gleich und viel intensiver. Bereits nach 7 Tagen waren ca.  $\frac{3}{4}$  der wasserlöslichen Kohlenhydrate abgebaut, nach 28 Tagen lagen nur noch Restzuckergehalte von ca. 10 g WLKH / kg TS vor.

Die in Abbildung 6 dargestellten ES-Gehalte lagen stets unterhalb von 2%. Sie waren aber bei allen Zusätzen im Vergleich zur Kontrolle sowohl am 7. als auch am 180. Tag etwas höher. Ammoniak- und Alkoholgehalte waren durchweg sehr niedrig. Die Gärverluste wurden durch den Nitrat-/Nitrit- Zusatz im Vergleich zum 180.Tag der Kontrollvariante deutlich gesenkt.

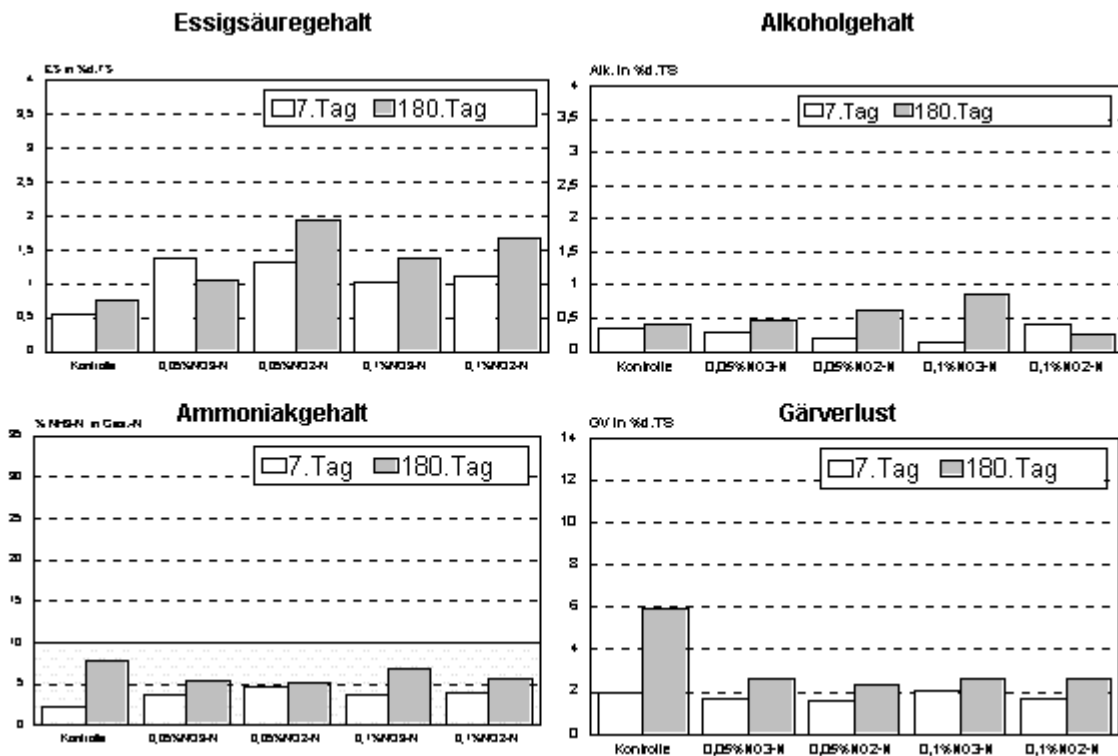


Abbildung 6: Gehalt an Essigsäure, Ammoniak und Alkohol (Ethanol+Propanol) sowie Gärverluste von Knaulgras, 2. Aufwuchs, mit geringem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Nitrat und Nitrit

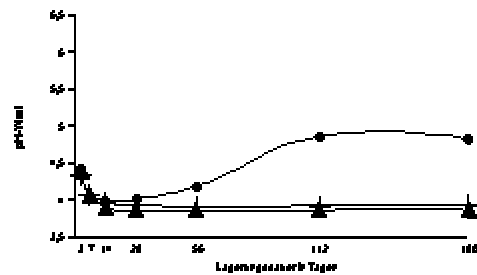
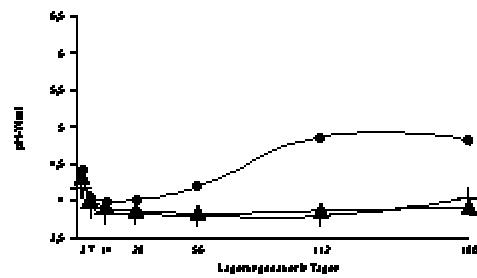
*Im Versuch mit Knaulgras des 2. Aufwuchses bei geringem Clostridiensporenbesatz konnte BS-Bildung durch Zusatz von 0,05 % und 0,1% Nitrat-N vollständig unterbunden, mit 0,05 % und 0,1% Nitrit-N eingeschränkt werden. Bei niedrigen pH-Werten bis Gärungsende lagen sowohl niedrige ES- als auch NH<sub>3</sub>-Gehalte vor.*

#### Gras- Leguminosen- Gemenge, 1. Aufwuchs (1/94) mit geringem Clostridiensporen-besatz

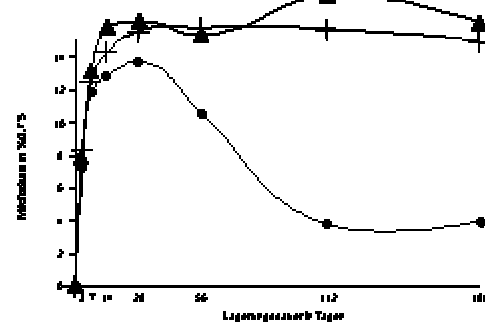
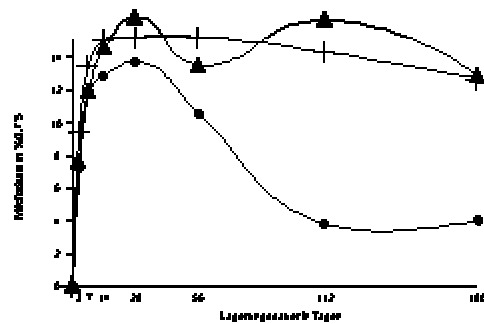
Für den Versuch mit GLG sind die Ergebnisse in Abbildung 7 und 8 dargestellt. Es bestätigen sich auch bei diesem Grünfütter die bisher getroffenen Aussagen zum Gärverlauf bezüglich der Wirkung der Zusätze von Nitrat und Nitrit.



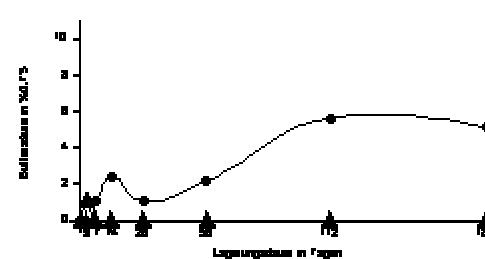
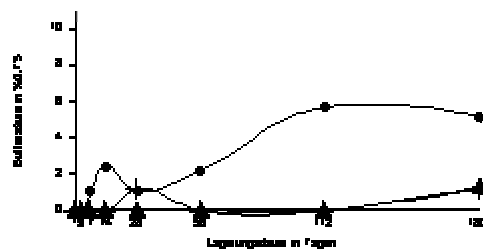
## pH-Wert



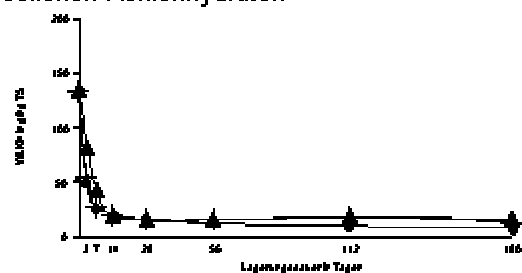
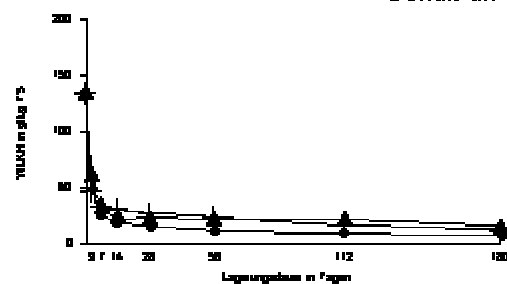
## Milchsäuregehalt



## Buttersäuregehalt



## Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten



0,05% N

0,1% N

●	Kontrolle	+ NO <sub>3</sub> -N	▲	NO <sub>2</sub> -N
---	-----------	----------------------	---	--------------------

Abbildung 7: Gärungsverlauf von Gras-Leguminosen-Gemenge, 1.Aufwuchs, bei Zusatz von Nitrat und Nitrit geringer Clostridiensporenbesatz ( $1,2 \times 10^3$  MPN/ g FM)

Hervorzuheben ist jedoch die Erhöhung und ausgeprägte Stabilisierung der Gehalte an Milchsäure sowohl durch 0,05 % als auch durch 0,1 % N des jeweiligen Zusatzes. Die pH-Werte sanken innerhalb der ersten 14 Tage in beiden Zusatzvarianten unter 4,0 und blieben im weiteren Verlauf der Gärung auf diesem Niveau.

Der in der Kontrollvariante nach 28 Gärungstagen, trotz ausgeprägter MS-Bildung und starkem pH-Rückgang zu Gärbeginn, festgestellte Laktatabbau konnte durch die Zusätze verhindert und somit der Gärverlauf insgesamt stabilisiert werden. Hinsichtlich der BS-Gehalte gab es Unterschiede in Abhängigkeit von der Dosis an Nitrat-/Nitrit-Zusatz. Mit 0,05 % Nitrat-/Nitrit-Zusatz konnte die BS-Bildung zwar zu Gärbeginn und bis zum 112.Tag, aber nicht bis zum Zeitpunkt der Auslagerung sicher unterdrückt werden. Es wurden zum 180.Tag 1,2 % bzw. 1,3 % Buttersäure nachgewiesen. Dagegen konnte der 0,1% ige Zusatz von Nitrat und Nitrit BS-Gärung im gesamten Verlauf sicher unterbinden.

Wasserlösliche Kohlenhydrate wurden während der Hauptgärung gleichermaßen in Kontroll- und Zusatzvarianten abgebaut.

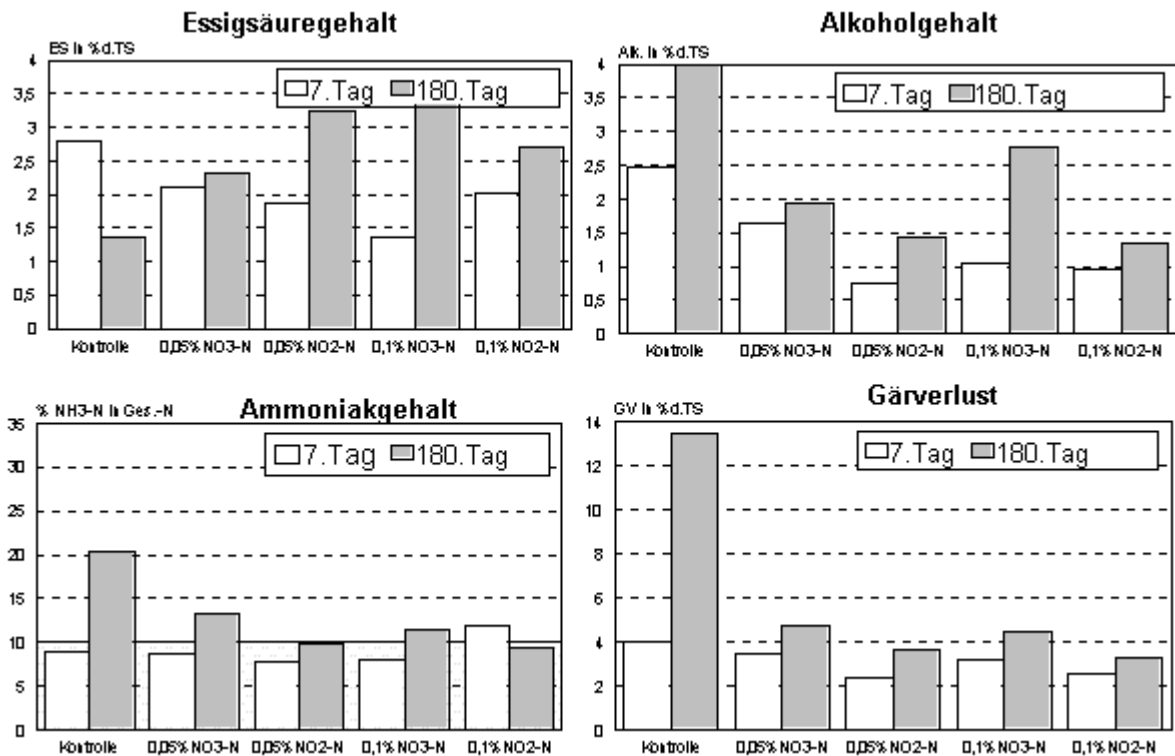


Abbildung 8: Gehalt an Essigsäure, Ammoniak und Alkohol (Ethanol+Propanol) sowie Gärverluste von Gras- Leguminosen-Gemenge, 1. Aufwuchs, mit geringem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Nitrat und Nitrit

Essigsäure- und Alkoholgehalte (siehe Abbildung 8) waren sowohl in der Kontroll- als auch in den Zusatzvarianten beim GLG im Vergleich zu den Knautgrasversuchen deutlich höher. Die Höchstwerte von 3,7 % ES und 2,8 % Alkohol bei 0,1 % Nitrat-N-Zusatz nach 180 Tagen sind im Vergleich zu bisher üblichen Silagen aber noch als niedrig einzustufen. Die Alkoholgehalte waren insgesamt durch die Zusätze im Vergleich zur Kontrolle reduziert. Die Wirkung der geprüften Zusätze wird auch an den Gehalten von Ammoniak sowie den Gärverlusten deutlich. Die Kontrolle mit hohen BS-Gehalten am 180.Tag wies hohe, für Aminosäurenabbau typische Ammoniakwerte und hohe Gärverluste auf. In allen Zusatzvarianten waren dagegen die Ammoniakgehalte und Gärverluste stark verringert.

*Im Versuch mit Gras-Leguminosen-Gemenge des 1. Aufwuchses und geringem Clostridiensporenbesatz konnte BS-Bildung zu Gärbeginn und das starke Ansteigen der BS-Gehalte infolge Laktatabbau durch die Zusätze mit beiden Dosierungen sicher unterbunden werden. Die pH-Werte blieben bis Gärungsende unter 4,0. ES- und NH<sub>3</sub>-Gehalte waren niedrig.*

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß in allen Versuchen mit Grünfutter geringer Clostridiensporenbelastung die von Gärbeginn an stattfindende BS-Gärung durch Zusatz von 0,1% Nitrat-N in TS (4,4 g  $\text{NO}_3^-$ / kg TS) unterbunden werden konnte. Durch den Nitritzusatz gleicher Dosierung wurden ähnliche Effekte erzielt. Bei 0,05 % N war die Wirkung des Nitrits etwas stärker ausgeprägt als die des Zusatzes an Nitrat. Durch den Zusatz von Nitrat und Nitrit sind die Gehalte an Essigsäure, Ammoniak und Alkohol eher eingeschränkt worden.

#### 4.1.2.2 Gärungsverlauf in Grünfutter mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Nitrat und Nitrit

##### **Knautgras, 1. Aufwuchs (3/93) mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz**

In Abbildung 9 ist der Gärverlauf von KG, 1.Aufwuchs, mit Clostridiensporenzusatz und Nitrat-/Nitrit-Zusatz dargestellt. Auch bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz zeigte sich deutlich die Wirksamkeit der Nitrat-/Nitrit-Zusätze auf den Verlauf der Gärung. Dabei traten größere Unterschiede zwischen den Gärverläufen in Abhängigkeit der Dosis und der Art des Zusatzes auf als beim entsprechenden Versuch mit geringer Sporenbelastung. Diese Differenzierungen in der Wirksamkeit der einzelnen Zusätze sind insofern bemerkenswert, als die Gärverläufe in den Kontrollvarianten bei Knautgras ohne und mit Clostridiensporen nicht wesentlich verschieden waren.

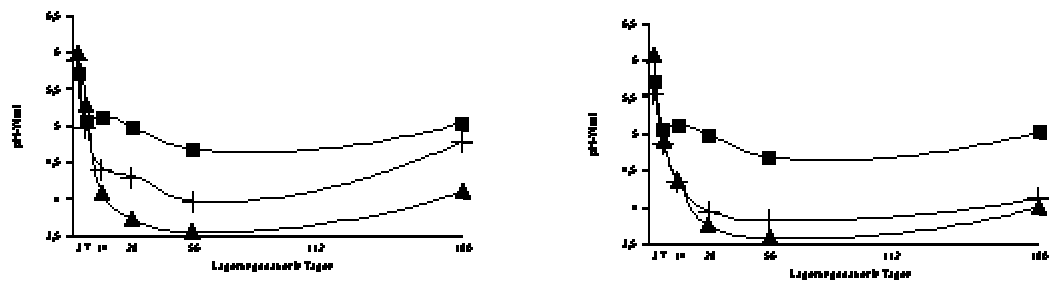
Der 0,05 % ige Nitritzusatz bewirkte im Vergleich zum Nitratzusatz eine insgesamt ausgeprägtere MS-Gärung mit einem stärkeren pH-Rückgang. BS-Bildung, von Gärbeginn an bis ca. 0,8%, konnte nicht unterbunden werden. Der BS-Gehalt stieg nach dem 56. Tag bis zur Auslagerung auf 1,5 % an, wobei die Buttersäure zu 100% aus n-BS bestand.

Mit 0,05 % Nitrat-N-Zusatz konnte BS-Gärung trotz MS-Bildung und pH-Abfall in den ersten Tagen ebenfalls nicht ausgeschaltet werden. Bei dieser Zusatz-Variante kam es dann im weiteren Verlauf der Gärung zum Laktatabbau, wodurch die BS-Gehalte bis zum 180.Tag auf ähnlich hohe Werte wie in der Kontrollvariante stiegen. Mit höheren BS-Gehalten wurden iso-Säuren und höhere Homologe der Buttersäure ab ca. 56. Tag festgestellt.

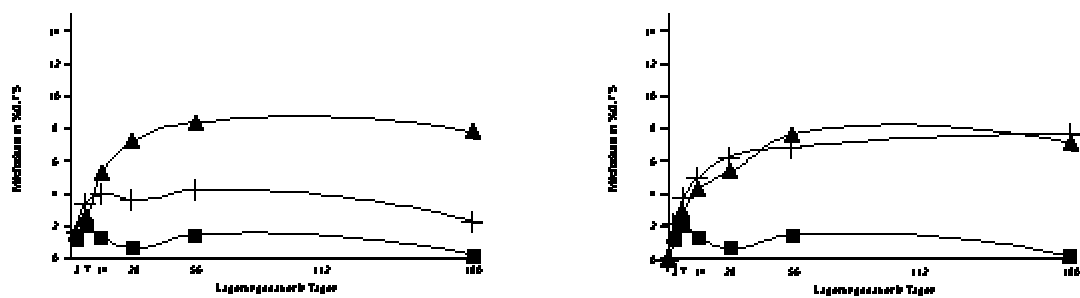
Entsprechend differenziert waren auch die Konzentrationsänderungen an wasserlöslichen Kohlenhydraten im Gärverlauf. Bei Nitrit-N-Zusatz trat der geringste Abbau auf. Die Unterschiede zwischen Kontrollvariante und Nitrat- Zusatz waren gering, besonders ab dem 56.Tag.

Beim Zusatz von 0,1 % N waren die Unterschiede zwischen den Nitrat-/Nitrit-Zusätzen hinsichtlich der Intensität der MS-Gärung im gesamten Verlauf geringer, die pH-Absenkung bis zum 28.Tag fast gleich. Bemerkenswert ist auch hier, daß in den ersten Gärungstagen mehr Milchsäure gebildet, damit der pH-Wert schneller und auf ein niedrigeres Niveau abgesenkt wurde, als im Versuch mit 0,1% N-Zusatz

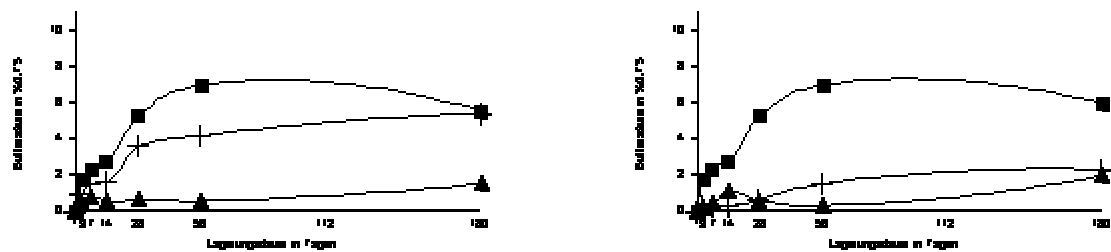
## pH-Wert



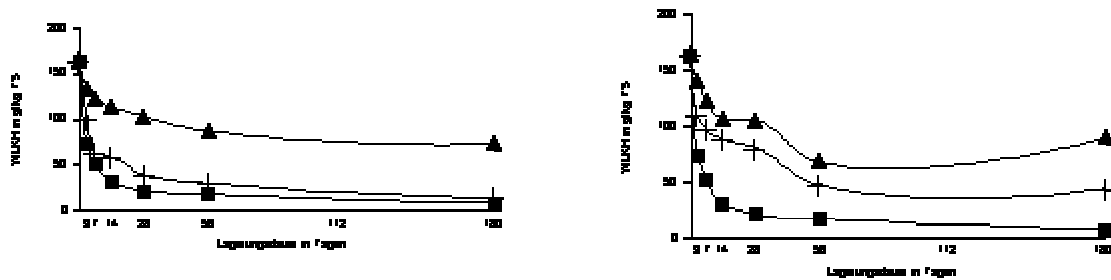
## Milchsäuregehalt



## Buttersäuregehalt



## Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten



0,05% N

0,1% N

■ Kontrolle + NO<sub>3</sub>-N ▲ NO<sub>2</sub>-N

Abbildung 9: Gärungsverlauf von Knaulgras, 1.Aufwuchs, bei Zusatz von Nitrat und Nitriten Clostridiensporenbesatz ( $3,5 \times 10^3$  MPN/ g FM)

bei geringer Sporenbelastung. Demgegenüber konnte aber die BS-Bildung nicht wie bei geringer Sporenbelastung durch 0,1% N vollständig unterbunden werden. Gegenüber der Kontrolle war sie in den ersten Gärungstagen zwar deutlich reduziert, aber im weiteren Verlauf der Gärung nicht unterbunden worden. Am 180.Tag waren in den Varianten neben ca. 7% Milchsäure mit Zusatz von Nitrit 1,9 %, mit Nitrat 2,3 % Gesamt-BS in TS vorhanden, die bereits Iso-Säuren enthielt.

Der Abbau wasserlöslicher Kohlenhydrate verlief auch hier in unterschiedlichem Ausmaß in Abhängigkeit des jeweiligen Zusatzes, wobei in der Variante mit 0,1 % igem Nitrit-N-Zusatz die geringste Abbaurate nachzuweisen war.

Die in Abbildung 10 dargestellten ES-Gehalte sind unabhängig von der jeweiligen Variante sehr niedrig. Die Alkoholgehalte waren insbesondere am 180. Tag in allen Varianten mit Werten zwischen 0,3 bis 1,3 % d. TS sehr niedrig. Aus der Darstellung zu den Gärverlusten ist erkennbar, daß in der

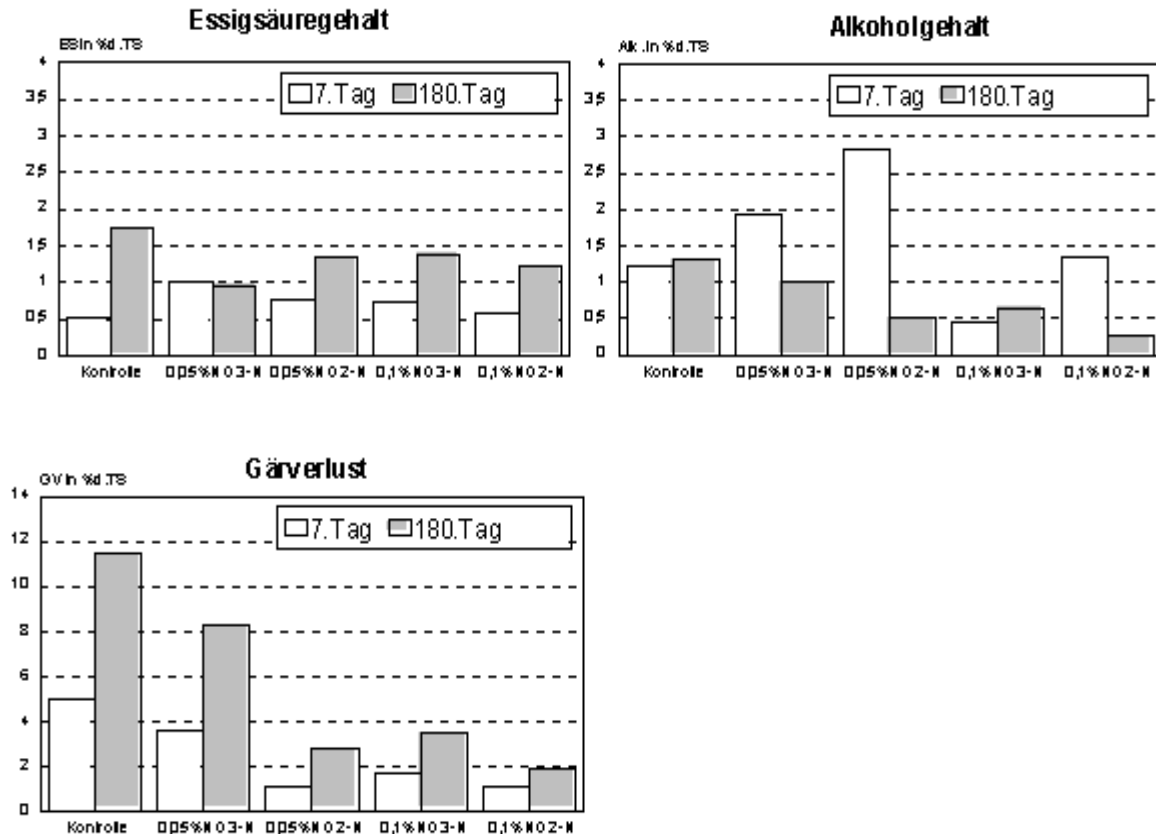


Abbildung 10: Gehalt an Essigsäure und Alkohol (Ethanol+Propanol) sowie Gärverluste von Knaulgras, 1. Aufwuchs, mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Nitrat und Nitrit

*Im Versuch mit Knaulgras des 1. Aufwuchses bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz konnte intensive BS-Bildung von Gärbeginn an durch den Zusatz von 0,05 % Nitrat-N nicht verhindert werden, wodurch der pH-Wert bis Gärungsende wieder anstieg. Mit 0,05 % Nitrit-N sowie 0,1% Nitrat-N und Nitrit-N wurde BS-Gärung stark eingeschränkt. Die ES-Gehalte waren unabhängig von der Variante sehr niedrig.*

#### Knaulgras, 2. Aufwuchs (18/93) mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz

Im Versuch mit KG des 2. Aufwuchses und erhöhtem Clostridiensporenbesatz, dargestellt in Abbildung 11, waren Unterschiede in der Wirksamkeit zwischen Nitrit und Nitrat sowohl bei 0,05 % als auch bei 0,1% Zusatz deutlich geringer als im vorherigen Versuch ausgeprägt. Der Verlauf von MS-Gärung und dem damit verbundenen pH-Rückgang war sowohl zeitlich als auch hinsichtlich der erreichten

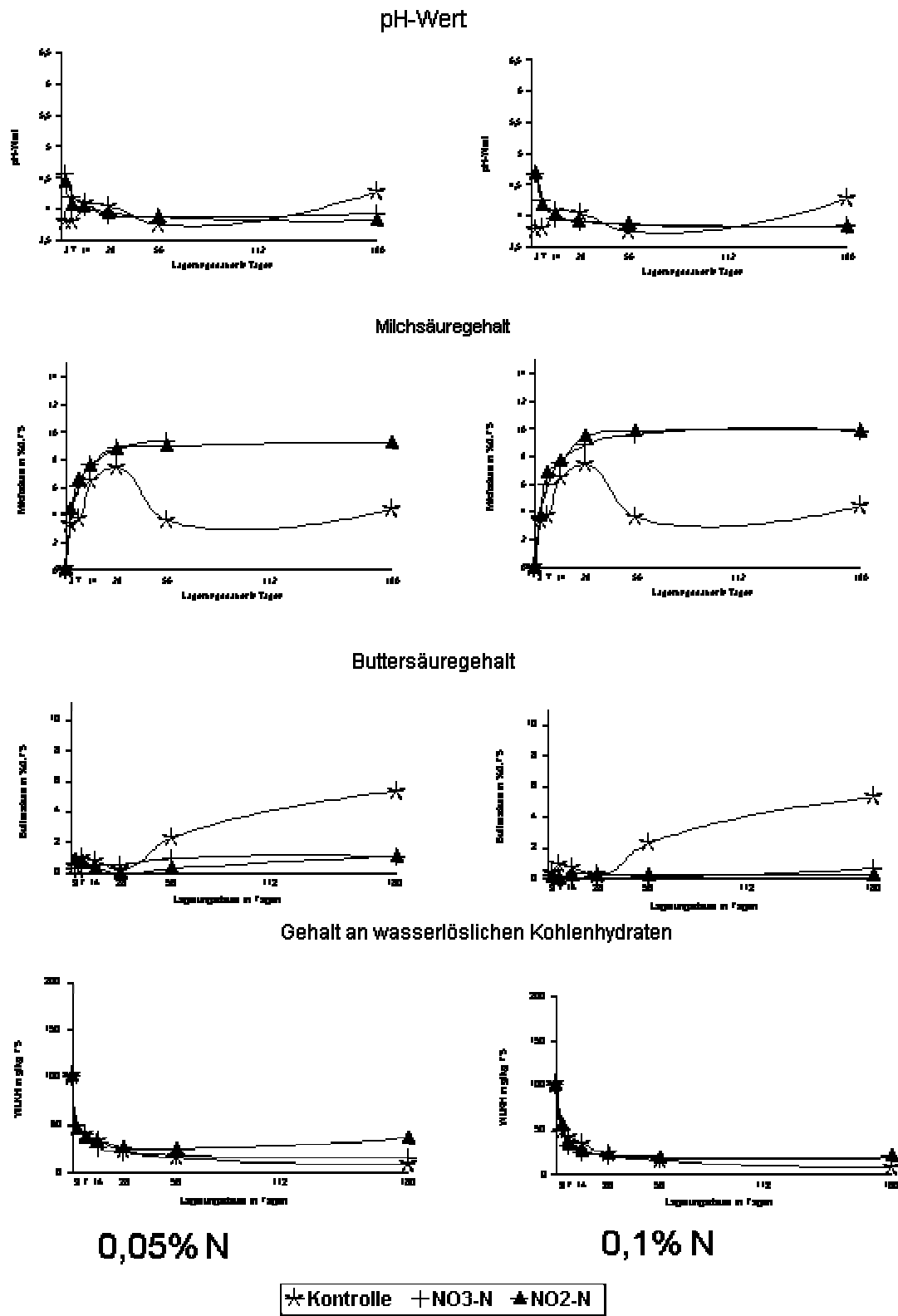


Abbildung 11: Gärungsverlauf von Knautgras, 2.Aufwuchs, bei Zusatz von Nitrat und Nitrit erhöhter Chlostridiensporenbesatz ( $2,1 \times 10^3$  MPN/ g FM)

Höhe der MS-Gehalte in allen Gärungsstadien unabhängig von der Zusatzvariante nahezu gleich. Die Intensität der MS-Gärung war in den Zusatzvarianten höher als in der Kontrolle, d.h. MS-Bildung wurde durch die Zusätze gefördert. Dennoch konnte die frühzeitige BS-Bildung in der Kontrollvariante mit 0,05 % Nitrat-/ Nitrit-N- Zusatz nicht unterdrückt werden. Nach 180 Tagen lag in beiden Varianten ein BS-Gehalt von ca. 1% vor. Laktatabbau, der in der Kontrollvariante mit stark ansteigenden BS-Gehalten im weiteren Verlauf der Gärung festgestellt wurde, konnte dagegen durch die niedrige Dosis verhindert werden.

Die 0,1% igen Zusätze konnten BS-Gärung bereits zu Gärbeginn sicher ausschalten. Jedoch lag mit 0,1% Nitrat- Zusatz nach Auslagerung 0,7 % BS in TS vor.

Wasserlösliche Kohlenhydrate wurden in allen Varianten gleichermaßen abgebaut.

ES- und Alkoholgehalte waren wiederum sehr niedrig (siehe Abb. 12). Die Einschränkung der Gärverluste mit Nitrat/ Nitrit im Vergleich zur Kontrolle zeigen auch in diesem Versuch die Wirksamkeit

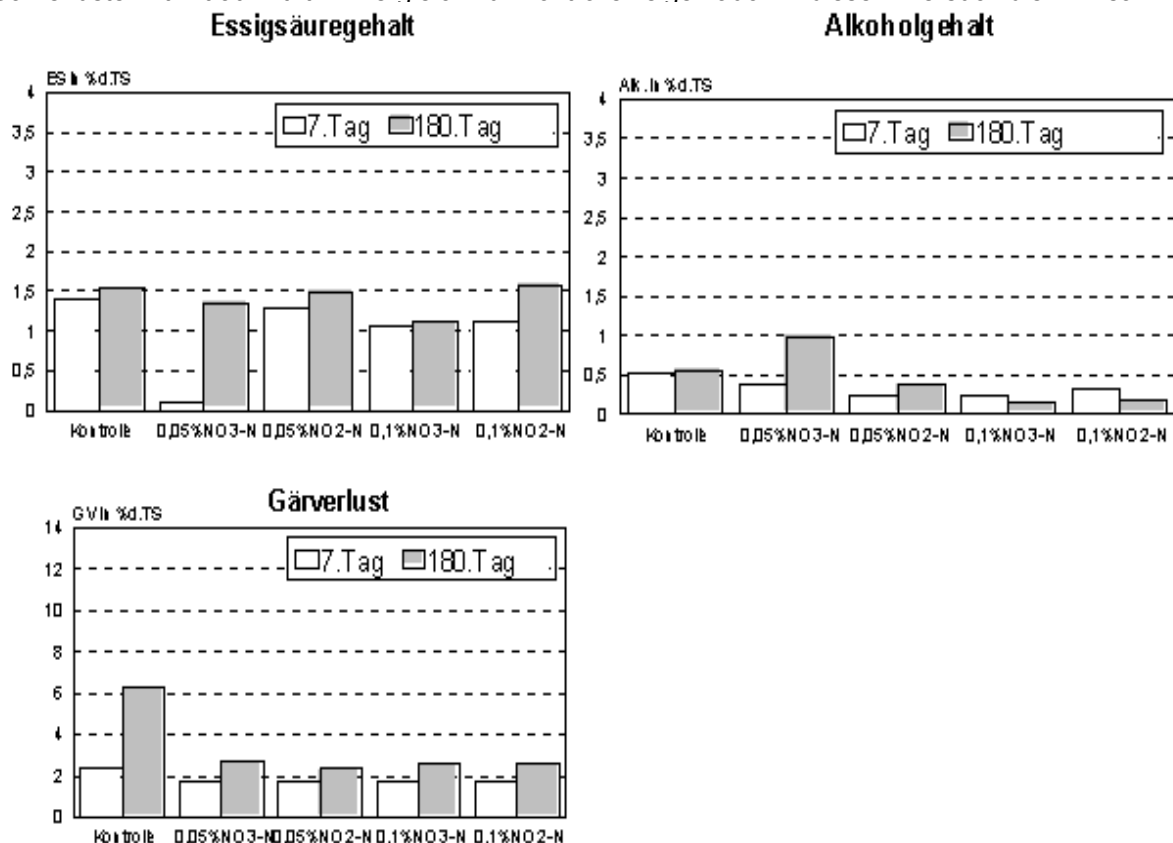


Abbildung 12: : Gehalt an Essigsäure und Alkohol (Ethanol+Propanol) sowie Gärverluste von Knaulgras, 2. Aufwuchs, mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz, bei Zusatz von Nitrat und Nitrit

Im Versuch mit Knaulgras des 2. Aufwuchses bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz konnte BS-Gärung, die in der Kontrollvariante infolge Laktatabbau sehr intensiv auftrat, durch den Zusatz von Nitrat- und Nitrit-N verhindert werden. Die 0,05 %- Zusätze konnten eine geringfügige BS-Bildung von Gärbeginn an jedoch nicht unterdrücken. Von den 0,1%- Zusätzen wirkte Nitrit-N hinsichtlich der Ausschaltung von BS-Gärung sicher, mit Nitrat-N lag geringfügig BS am 180.Tag vor. Unabhängig von der Variante waren sowohl pH-Werte als auch ES-Gehalte sehr niedrig.

#### Gras-Leguminosen-Gemenge, 1. Aufwuchs (2/94) mit erhöhtem Clostridien-sporenbesatz

Beim Versuch mit clostridiensporenbelastetem GLG (Abb. 13) bewirkten die Zusätze durch Stimulierung der MS-Gärung in den ersten 14 Gärungstagen zwar eine pH-Absenkung gegenüber der Kontrolle. Dann jedoch setzte, zeitlich verzögert im

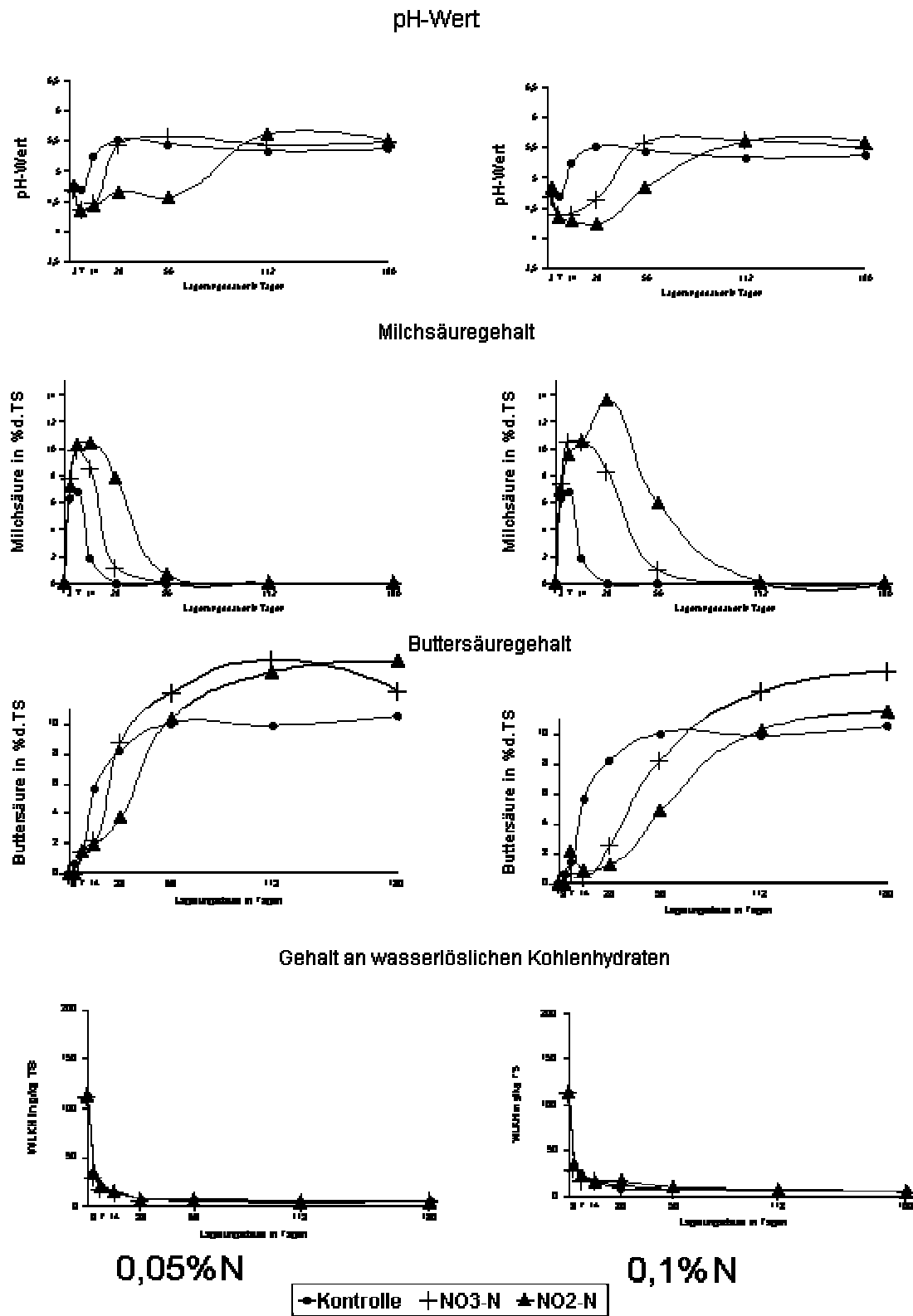


Abbildung 13: Gärungsverlauf von Gras-Leguminosen-Gemenge, 1.Aufwuchs, bei Zusatz von Nitrat und Nitrit erhöhter Clostridiensporenbesatz ( $2,9 \times 10^3$  MPN/ g FM)



Vergleich zur Kontrolle, sowohl bei 0,05% igem als auch bei 0,1 % igem Zusatz, Laktatabbau ein. In allen Varianten lief der Prozeß des "Umkippens" ab. Es war aber eine differenzierte Wirkung des Zusatzes auf den Gärungsverlauf nach Dosis und Art des Zusatzes erkennbar.

Der Zusatz von 0,05 % Nitrit-N erwies sich auch hier hinsichtlich MS-Bildung und pH-Absenkung als etwas wirksamer gegenüber der Nitratvariante in gleicher N-Dosierung, da Laktatabbau und pH-Anstieg im Vergleich zur Kontrolle länger hinausgezögert wurden.

Mit 0,1% iger Dosierung der Zusätze erreichte die MS-Gärung in den ersten 28 Tagen ein höheres Niveau als in den Varianten mit 0,05% N und Laktatabbau setzte noch später ein. Auch bei höherer Dosierung wirkte Nitrit stärker als Nitrat.

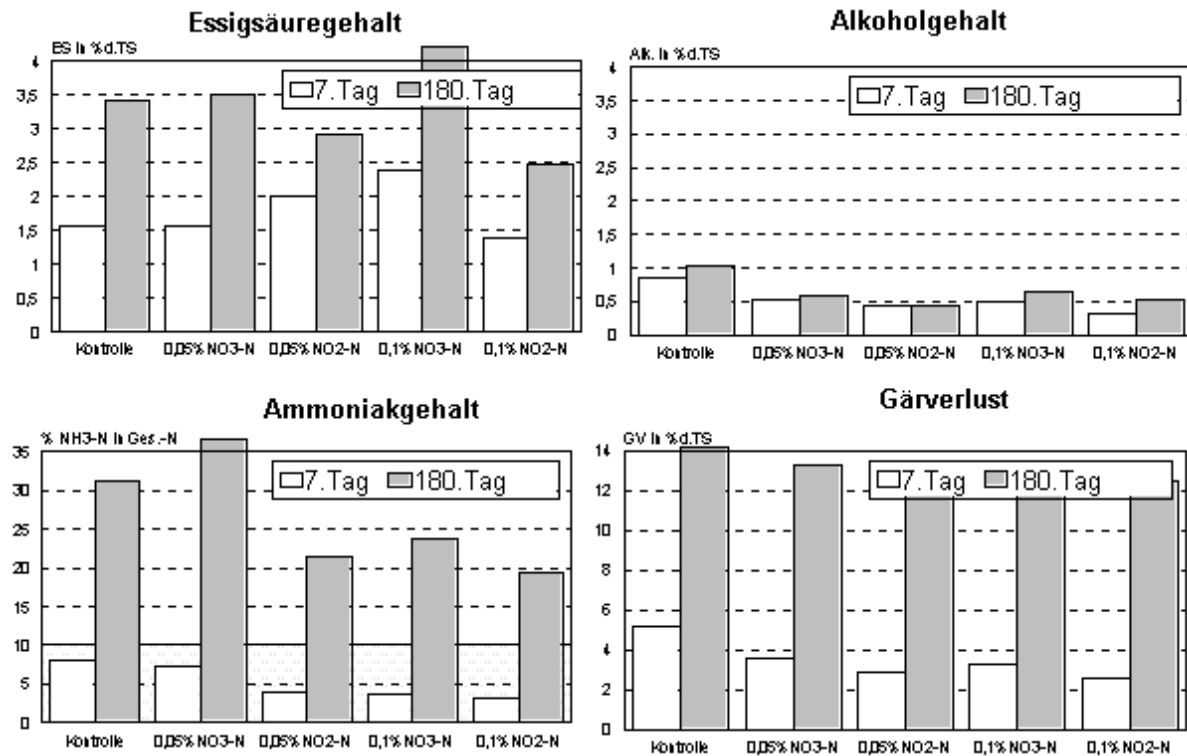


Abbildung 14: Gehalt an Essigsäure, Ammoniak und Alkohol (Ethanol+ Propanol) sowie Gärverluste von Gras-Leguminosen-Gemenge, 1. Aufwuchs, mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Nitrat und Nitrit

Die BS-Gärung infolge Laktatabbau erreichte insgesamt in allen Zusatzvarianten ein sehr hohes Ausmaß. Die BS-Gehalte waren sogar höher als in der Kontrolle. Entsprechend der Intensität der MS-Gärung in den einzelnen Zusatzvarianten war der starke Anstieg der BS-Gärung zeitlich verzögert.

Die in Abbildung 14 erkennbaren hohen Ammoniakgehalte und Gärverluste am 180. Tag in allen Varianten entsprachen den zu diesem Zeitpunkt nachgewiesenen hohen BS-Gehalten.

Vereinzelte traten im gesamten Gärverlauf bzw. am Ende der Lagerung etwas höhere ES-Gehalte mit Werten von 3,5 bzw. 4,2 % auf. Diese etwas erhöhten ES-Gehalte, auch in der Kontrolle, könnten aus der Stoffwechselaktivität von Mikroorganismen resultieren, die mit dem Silageabraummaterial zur Einstellung einer erhöhten Clostridiensporenbelastung des Ausgangsmaterials in das Siliergut gelangt sind.

Die Alkoholgehalte aller Varianten sind dagegen unerwartet niedrig.

*Im Versuch mit Gras-Leguminosen-Gemenge des 1. Aufwuchses bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz konnte BS-Bildung von Gärbeginn an durch Zusatz von Nitrat/ Nitrit nicht verhindert werden. Die intensive BS-Gärung infolge des schnellen Laktatabbaus wurde durch diese Zusätze nur zeitlich verzögert. Als am wirksamsten erwies sich 0,1 % Nitrit-N. Infolge des Laktatabbaus stiegen die pH-Werte und besonders stark die NH<sub>3</sub>-Gehalte an. Die ES-Gehalte waren dagegen im gesamten Gärverlauf nicht wesentlich erhöht.*

Abschließend läßt sich feststellen, daß in dem untersuchten nitratarmen Grünfutter mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz erwartungsgemäß die BS-Bildung in den Kontroll- und Zusatzvarianten in stärkerem Ausmaß als im Grünfutter mit geringer Sporenzahl abgelaufen ist. Jedoch bewirkten die Zusätze von Nitrat und Nitrit Änderungen im Gärverlauf, auch hinsichtlich einer Stimulierung der MS-Gärung mit stärkerer pH-Absenkung zu Gärbeginn. BS-Bildung konnte jedoch nicht mehr sicher unterbunden, nur verzögert oder eingeschränkt werden. Erst bei sehr hohen BS-Gehalten traten erhöhte  $\text{NH}_3$ -Gehalte auf. Die ES-Gehalte waren dagegen stets niedrig.

Nitrit-N erwies sich hierbei in der höheren Konzentration von 0,1 % gegenüber Nitrat als wirksamer.

#### 4.1.2.3 Vergleich der Gärungsverläufe bei Zusatz von Nitrat und Nitrit in Abhängigkeit der Höhe des Clostridiensporenbesatzes

Nachfolgend sollen die Gärproduktmuster der Silagen aus den einzelnen Versuchen mit Zusätzen von Nitrat und Nitrit bei geringem und erhöhtem Clostridiensporenbesatz vergleichend gegenübergestellt und besprochen werden.

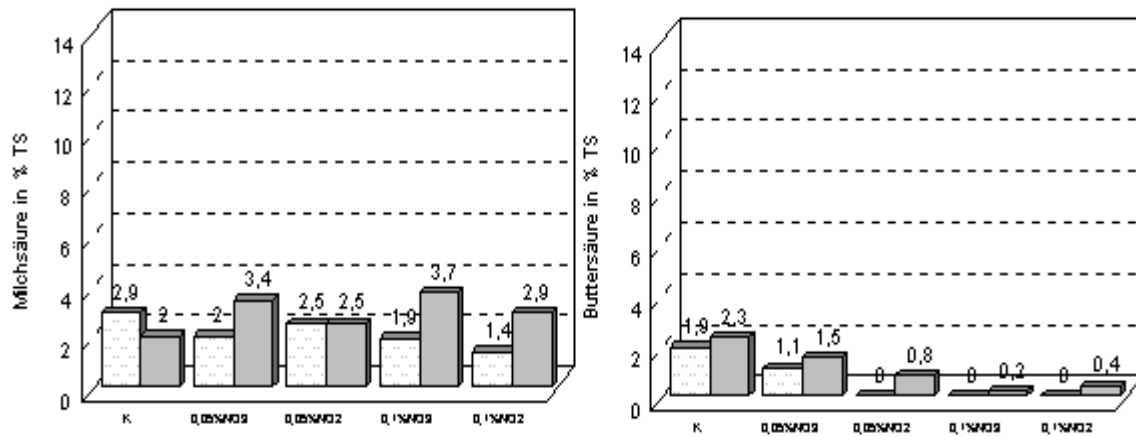
##### **Gärproduktmuster nach 7 Tagen Lagerungsdauer**

In Abbildung 15 sind MS- und BS-Gehalte in Silagen nach 7 Tagen Lagerung bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz dargestellt.

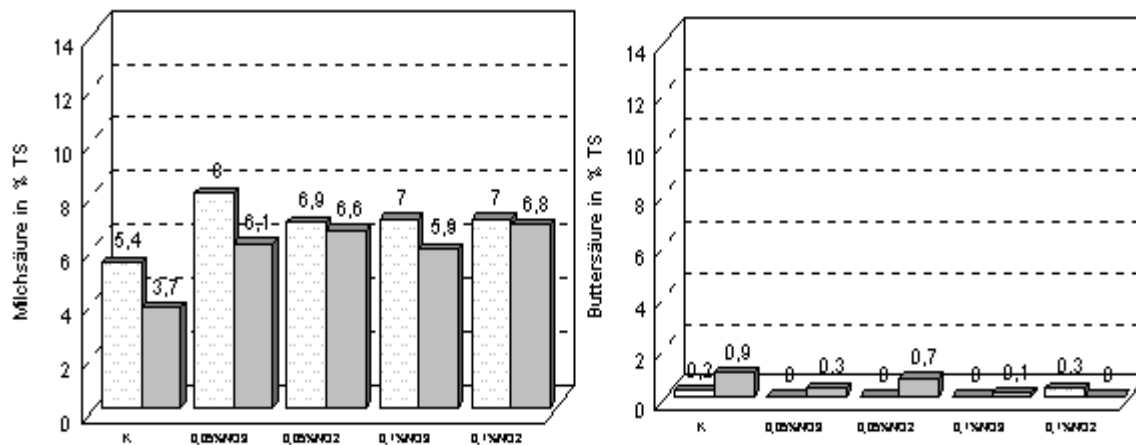
Die in den ersten Gärungstagen gebildete Milchsäure wies bei den verschiedenen Pflanzenarten unterschiedlich hohe Gehalte auf, unabhängig von Clostridien-sporenbesatz und Zusätzen. Im Versuch mit dem nach VK leicht vergärbaren KG (VK 61 bzw. 64) war das Ausmaß der MS-Gärung deutlich geringer als bei mittelschwer vergärbarem KG, 2. Aufwuchs, und als bei schwer vergärbaren GLG. In der Tendenz ist erkennbar, daß die MS-Gärung durch Clostridiensporen in allen Versuchsvarianten zu diesem Zeitpunkt geringfügig eingeschränkt war. Die Nitrat-/Nitrit-Zusätze bewirkten jedoch im Vergleich zur Kontrollvariante in allen Dosierungen, insbesondere bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz, eine Stimulierung der MS-Gärung.

Auch bei der BS-Gärung zeigte sich bereits die Wirkung der Zusätze. Bei geringer Sporenbelastung im Grünfutter bewirkten die Zusätze eine Unterdrückung der BS-Bildung, die in den Kontrollvarianten trotz mehr oder weniger ausgeprägter MS-Gärung vorhanden war. Die Variante mit 0,05 % Nitrat-N beim KG-Versuch, 1. Aufwuchs, stellt dabei die Ausnahme dar. Bei erhöhter Sporenbelastung konnte nach 7 Tagen durch die Zusätze die BS-Bildung in fast allen Varianten reduziert werden, wobei der Zusatz in höherer Dosis sicherer wirkte.

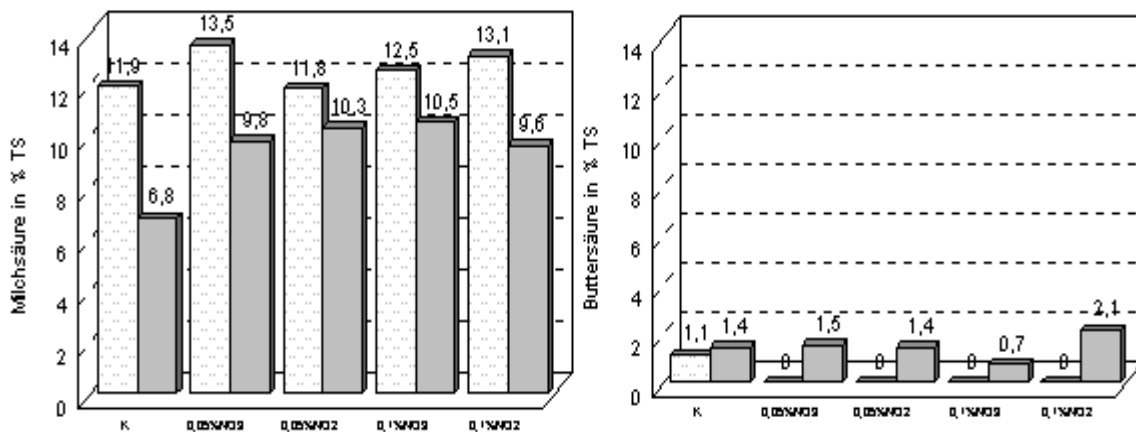
## Knautgras, 1.Aufwuchs VK 61 u.64



## Knautgras, 2.Aufwuchs VK 36 u. 38



## Gras-Leguminosen-Gemenge, 1.Aufwuchs VK 28 u. 29



Clostridiensporenbesatz:

☐ gering
 ☒ erhöht

Abbildung 15: Milchsäure- und Buttersäuregehalt in Silagen bei Zusatz von Nitrat und Nitrit nach 7 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz des Grünfutters

Tabelle 13: Ausgewählte Merkmale der Gärqualität der Silagen mit Nitrat-/Nitrit-Zusätzen nach 7 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz des Grünfutters

7.Tag		KG, 1.Aufw.		KG, 2.Aufw.		GLG, 1.Aufw.	
VK		61	64	36	38	28	29
Sporenbesatz		gering	erhöht	gering	erhöht	gering	erhöht
pH	Kontrolle	5,14	5,06	4,25	3,80	4,04	4,69
	0,05%NO <sub>3</sub>	5,58	4,97	4,07	4,20	3,89	4,36
	0,05%NO <sub>2</sub>	5,20	5,27	4,26	4,06	4,02	4,34
	0,1%NO <sub>3</sub>	5,52	4,86	4,21	4,26	4,06	4,38
	0,1%NO <sub>2</sub>	5,62	4,90	4,23	4,17	4,04	4,33
ES %d.TS	Kontrolle	0,35	0,51	0,56	1,40	2,78	1,57
	0,05%NO <sub>3</sub>	0,39	1,02	1,37	0,09	2,10	1,57
	0,05%NO <sub>2</sub>	0,35	0,78	1,32	1,30	1,88	2,00
	0,1%NO <sub>3</sub>	0,39	0,75	1,02	1,07	1,35	2,38
	0,1%NO <sub>2</sub>	0,39	0,58	1,12	1,12	2,03	1,40
Alk. %d.TS	Kontrolle	1,56	1,22	0,36	0,51	2,48	0,86
	0,05%NO <sub>3</sub>	0,94	1,94	0,30	0,37	1,65	0,54
	0,05%NO <sub>2</sub>	0,23	2,82	0,20	0,23	0,75	0,43
	0,1%NO <sub>3</sub>	0,31	0,44	0,15	0,23	1,05	0,49
	0,1%NO <sub>2</sub>	0,19	1,36	0,41	0,33	0,97	0,32
n-BS % an BS <sub>Ges.</sub>  - keine BS <sub>Ges.</sub>	Kontrolle	100	100	100	100	100	100
	0,05%NO <sub>3</sub>	79	100	-	71	-	48
	0,05%NO <sub>2</sub>	-	65	-	100	-	73
	0,1%NO <sub>3</sub>	-	100	-	100	-	0
	0,1%NO <sub>2</sub>	-	100	100	-	-	49
NH <sub>3</sub> -N % in Ges.-N	Kontrolle	6,38	n.b.	2,34	n.b.	8,90	8,18
	0,05%NO <sub>3</sub>	5,52	n.b.	3,74	n.b.	8,61	7,33
	0,05%NO <sub>2</sub>	2,24	n.b.	4,68	n.b.	7,75	3,92
	0,1%NO <sub>3</sub>	3,79	n.b.	3,74	n.b.	8,04	3,76
	0,1%NO <sub>2</sub>	1,90	n.b.	3,98	n.b.	11,77	3,06

Aus Tabelle 13 ist ersichtlich, daß die zu diesem Zeitpunkt vorliegende Gesamt-BS überwiegend aus n-BS bestand, außer beim GLG mit erhöhter Sporenanzahl. Die Ammoniakgehalte, sofern bestimmt, waren sehr niedrig und lagen unterhalb von 10% NH<sub>3</sub>-N an Ges.-N. Die ES-Gehalte waren ebenfalls unabhängig von Versuch und Zusatzvarianten niedrig. Auffällig sind die extrem niedrigen Werte beim Versuch mit KG des 1. Aufwuchses, der bereits vergleichsweise niedrige MS-Gehalte aufwies. Auch die Alkoholgehalte waren in diesem Gärungsstadium in allen Versuchen niedrig, wobei sie in der Tendenz bei Nitrat-/Nitrit-Zusatz im Vergleich zur Kontrolle noch geringer ausfielen.

Insgesamt sind nur geringe Unterschiede in der Wirkung der Zusätze in Abhängigkeit von Art und Konzentration festzustellen.

*Durch Zusatz von 0,05 bzw. 0,1 % Nitrat und Nitrit konnten in den ersten 7 Gärungstagen im Vergleich zur Kontrolle MS-Gärung und pH-Absenkung stimuliert sowie BS-Gärung bei geringer Sporenbelastung unterdrückt bzw. bei erhöhter Clostridiensporenbelastung eingeschränkt werden. ES- und  $\text{NH}_3$ -Gehalte waren stets extrem niedrig.*

### **Gärproduktmuster nach 28 Tagen Lagerungsdauer**

In Abbildung 16 sind MS- und BS-Gärung nach 28 Tagen Lagerung dargestellt.

Das unterschiedliche Ausmaß der MS-Gärung bei den einzelnen Pflanzenarten ist auch in diesem Gärungsstadium erkennbar. Es traten Unterschiede im MS-Gehalt in allen Varianten in Abhängigkeit vom Sporenbesatz auf, die nur im Versuch mit KG, 2. Aufwuchs, sehr gering waren. Im Vergleich zum 7. Tag war die MS-Bildung in allen Versuchen erhöht, mit Ausnahme des sporenbelasteten GLG.

Durch Nitrat-/ Nitrit- Zusatz wurde bei geringem und erhöhtem Sporenbesatz im Grünfutter die Intensität der MS-Bildung in den Silagen im Vergleich zur jeweiligen Kontrollvariante gesteigert. Bemerkenswert ist der Versuch mit KG des 1. Aufwuchses dahingehend, daß die Silagen von sporenbelastetem Grünfutter unerwartet deutlich mehr Milchsäure enthielten und niedrigere pH-Werte (s. Tab. 14) aufwiesen als bei geringem Sporenbesatz.

Die BS-Bildung konnte bei geringer Sporenbelastung nach 28 Tagen durch Nitrat-/ Nitrit- Zusatz unterdrückt werden, wobei 0,05% Nitrat-N nicht mehr zuverlässig wirkte. Bei höherer Sporenbelastung wurde die unzureichende Wirksamkeit dieses Zusatzes noch deutlicher sichtbar. Jedoch konnten auch die anderen Zusätze bei höherem Sporenbesatz Clostridienaktivität nicht wirksam unterbinden.

In nahezu allen Silagen bestand die Gesamt-BS noch zu fast 100% aus n-BS und Ammoniak-N-Werte lagen nicht über 10% an Ges.-N (s. Tab. 14). Nur der hohe BS-Gehalt des sporenbelasteten GLG in der Variante mit 0,05 % Nitrat-N wies sowohl iso-Säuren und höhere Homologe als auch hohe Ammoniakgehalte in den Silagen auf, so daß offensichtlich bereits Aminosäurenabbau eingesetzt hatte.

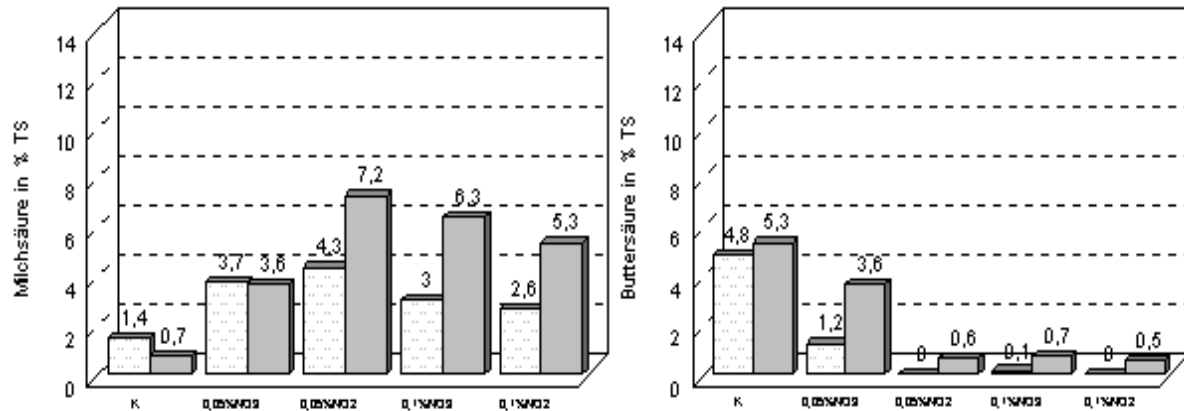
Die Essigsäure- und Alkoholgehalte waren auch hier niedrig und meist in den Zusatzvarianten noch geringer als in der Kontrolle.

*Nach 28 Gärungstagen zeigte sich, daß die Nitrat-/ Nitrit-Zusätze nur bei geringer Clostridiensporenbelastung BS-Bildung hemmen konnten. Bei erhöhter Sporenbelastung war die Wirkung unsicher. Bei BS-Gehalten über 1,2 % traten dann erhöhte pH-Werte und  $\text{NH}_3$ -Gehalte auf. ES-Gehalte waren bis auf eine Ausnahme von 4,2 % sehr niedrig.*

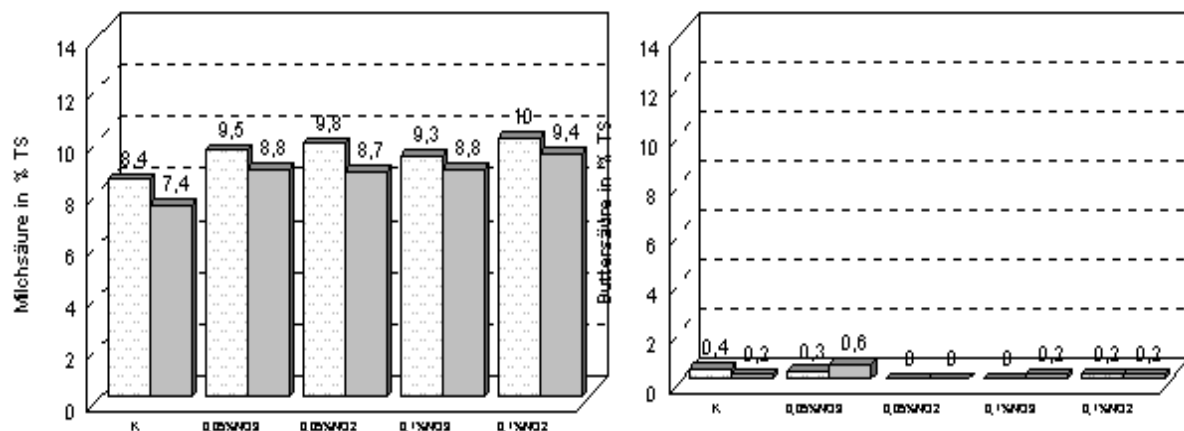
## Milchsäuregärung

## Buttersäuregärung

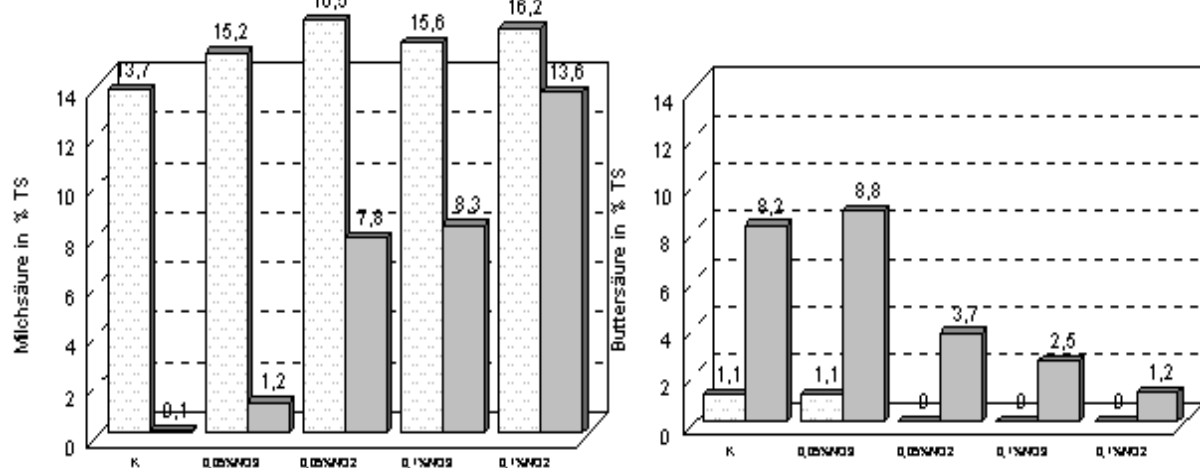
### Knautgras, 1.Aufwuchs VK 61 u. 64



### Knautgras, 2.Aufwuchs VK 36 u. 38



### Gras-Leguminosen-Gemenge, 1.Aufwuchs VK28 u. 29



Clostridiensporenbesatz:

gering erhöht

Abbildung 16: Milchsäure- und Buttersäuregärung in Silagen bei Zusatz von Nitrat und Nitrit nach 28 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz

Tabelle 14: Ausgewählte Merkmale der Gärqualität der Silagen mit Nitrat-/Nitrit-Zusätzen nach 28 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Chlostridiensporenbesatz des Grünfutters

<b>28.Tag</b>		<b>KG, 1.Aufw.</b>		<b>KG, 2.Aufw.</b>		<b>GLG,1.Aufw.</b>	
<b>VK</b>		61	64	36	38	28	29
<b>Sporenbesatz</b>		gering	erhöht	gering	erhöht	gering	erhöht
<b>pH</b>	Kontrolle	5,03	4,97	3,98	4,03	4,01	5,50
	0,05%NO <sub>3</sub>	4,71	4,30	3,94	3,90	3,81	5,44
	0,05%NO <sub>2</sub>	4,34	3,72	3,89	3,93	3,86	4,64
	0,1%NO <sub>3</sub>	4,93	3,94	3,99	3,91	3,93	4,64
	0,1%NO <sub>2</sub>	4,97	3,74	3,94	3,91	3,85	4,23
<b>ES %d.TS</b>	Kontrolle	0,78	0,61	0,76	1,53	2,44	2,54
	0,05%NO <sub>3</sub>	0,51	0,58	1,27	1,21	2,33	2,86
	0,05%NO <sub>2</sub>	0,43	1,70	1,07	1,30	1,88	1,46
	0,1%NO <sub>3</sub>	0,51	0,61	1,27	1,35	2,03	2,00
	0,1%NO <sub>2</sub>	0,39	0,61	1,12	1,49	1,88	2,00
<b>Alk. %d.TS</b>	Kontrolle	2,15	1,09	0,56	0,65	2,03	0,92
	0,05%NO <sub>3</sub>	0,90	1,22	0,36	0,42	1,65	0,57
	0,05%NO <sub>2</sub>	0,58	1,94	0,20	0,28	1,28	0,49
	0,1%NO <sub>3</sub>	0,35	0,41	0,15	0,42	1,58	0,65
	0,1%NO <sub>2</sub>	0,23	1,53	0,41	0,30	1,28	0,48
<b>n-BS</b> % an BS <sub>Ges.</sub>  - keine BS <sub>Ges.</sub>	Kontrolle	100	94	100	100	100	70
	0,05%NO <sub>3</sub>	100	100	100	100	100	67
	0,05%NO <sub>2</sub>	-	100	-	-	-	93
	0,1%NO <sub>3</sub>	100	74	-	-	-	100
	0,1%NO <sub>2</sub>	-	100	100	100	-	82
<b>NH<sub>3</sub>-N</b> % in Ges.-N	Kontrolle	8,11	n.b.	3,51	n.b.	11,70	23,68
	0,05%NO <sub>3</sub>	7,25	n.b.	4,91	n.b.	10,33	21,46
	0,05%NO <sub>2</sub>	3,62	n.b.	4,68	n.b.	8,32	2,91
	0,1%NO <sub>3</sub>	5,35	n.b.	5,61	n.b.	9,76	5,45
	0,1%NO <sub>2</sub>	3,28	n.b.	4,68	n.b.	8,61	4,26

### Gärproduktmuster nach 180 Tagen Lagerungsdauer

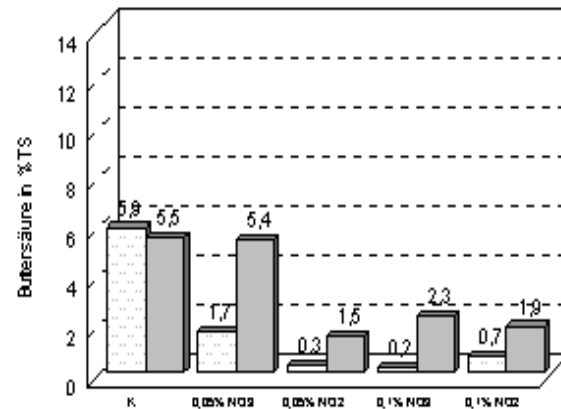
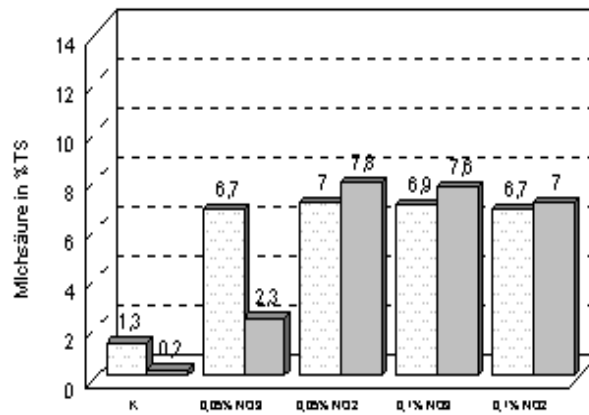
In Abbildung 17 sind MS- und BS-Gehalte in Silagen nach Auslagerung dargestellt.

Die MS-Gärung hatte im Vergleich zum 28.Tag bei allen Varianten der Versuche mit KG an Intensität noch zugenommen, besonders in den Silagen des sauber geernteten Grünfutters vom 1. Aufwuchs. In den Kontrollvarianten bei den Versuchen mit KG, 1. und 2. Aufwuchs, war die Milchsäure nur bei höherem Sporenbesatz am 180. Tag abgebaut. Mit Nitrat-/Nitrit-Zusätzen lagen zum Gärungsende sowohl bei geringem als auch beim erhöhten Sporenbesatz im Vergleich zur jeweiligen Kontrollvariante wesentlich höhere MS-

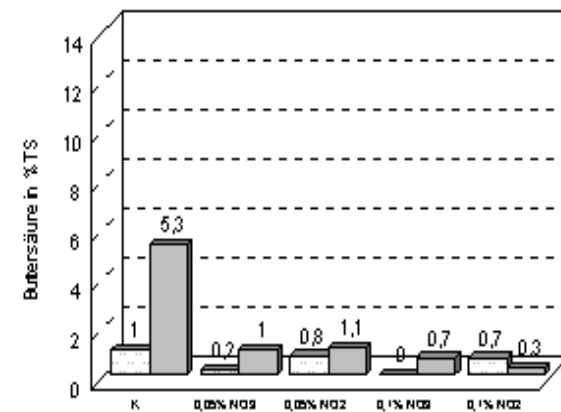
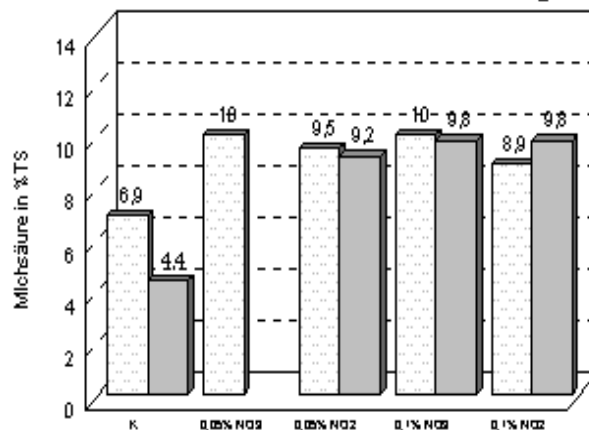
## Milchsäuregärung

## Buttersäuregärung

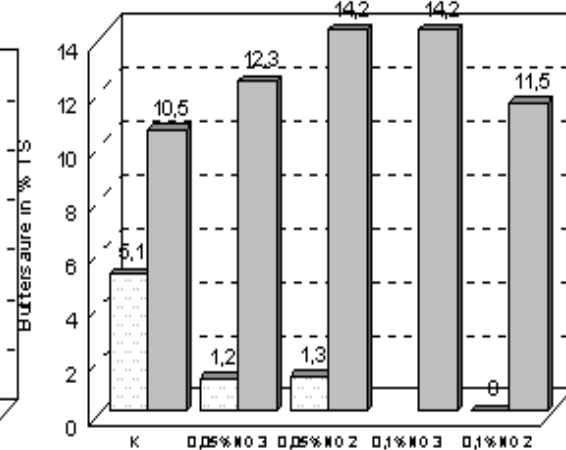
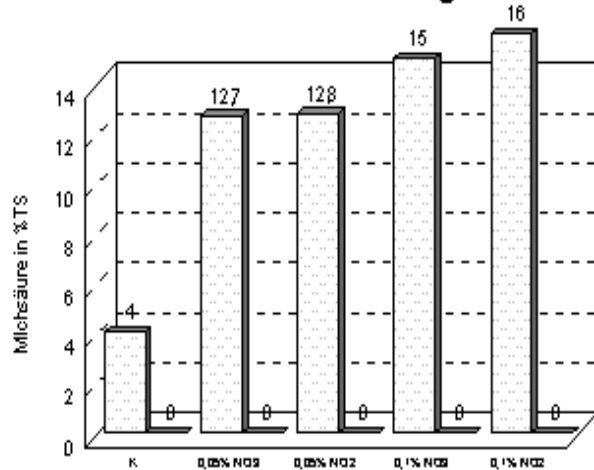
## Knautgras, 1. Aufwuchs VK 61 u. 64



## Knautgras, 2. Aufwuchs VK 36 u. 38



## Gras-Leguminosen-Gemenge, 1. Aufwuchs VK 28 u. 29



Clostridiensporenbesatz:

☐ gering ☒ erhöht

Abbildung 17: Milchsäure- und Buttersäuregehalt in Silagen bei Zusatz von Nitrat und Nitrit nach 180 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz des Grünfutters



Gehalte und geringere pH-Werte (s.Tab. 14) vor. Die Unterschiede zwischen Silagen geringer und erhöhter Sporenbelastung waren in den Zusatzvarianten, außer beim 0,05 %igen Nitratzusatz, sehr gering.

Im Versuch mit GLG waren die MS-Gehalte seit dem 28. Tag in allen Varianten des sauber geernteten Grünfutters mit Nitrat-/Nitrit-Zusatz nicht mehr angestiegen. In der Kontrollvariante und bei Zusatz von 0,05 % N trat bereits Laktatabbau auf.

In den Silagen mit erhöhtem Sporenbesatz war der Laktatabbau in allen Varianten schon so weit fortgeschritten, daß keine Milchsäure mehr vorhanden war .

Tabelle 15: Ausgewählte Merkmale der Gärqualität der Silagen mit Nitrat-/Nitrit-Zusätzen nach 180 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Chlostridiensporenbesatz des Grünfutters

<b>180.Tag</b>		<b>KG, 1.Aufw.</b>		<b>KG, 2.Aufw.</b>		<b>GLG,1.Aufw.</b>	
<b>VK</b>		61	64	36	38	28	29
<b>Sporenbesatz</b>		gering	erhöht	gering	erhöht	gering	erhöht
<b>pH</b>	Kontrolle	4,71	5,03	4,19	4,28	4,82	5,37
	0,05%NO <sub>3</sub>	4,17	4,79	3,88	3,93	4,03	5,48
	0,05%NO <sub>2</sub>	4,21	4,10	3,80	3,81	3,90	5,49
	0,1%NO <sub>3</sub>	4,06	4,12	3,78	3,84	3,94	5,48
	0,1%NO <sub>2</sub>	4,16	4,00	3,86	3,82	3,86	5,58
<b>ES %d.TS</b>	Kontrolle	2,46	1,73	0,76	1,53	1,35	3,40
	0,05%NO <sub>3</sub>	1,17	0,95	1,07	1,35	2,33	3,51
	0,05%NO <sub>2</sub>	0,90	1,36	1,93	1,49	3,23	2,92
	0,1%NO <sub>3</sub>	1,02	1,39	1,37	1,12	3,68	4,21
	0,1%NO <sub>2</sub>	0,62	1,56	1,68	1,21	2,71	2,48
<b>Alk. %d.TS</b>	Kontrolle	1,68	1,32	0,41	0,56	3,98	1,03
	0,05%NO <sub>3</sub>	1,09	1,02	0,46	0,98	1,95	0,59
	0,05%NO <sub>2</sub>	0,43	0,51	0,61	0,37	1,43	0,43
	0,1%NO <sub>3</sub>	0,47	0,65	0,86	0,14	2,78	0,65
	0,1%NO <sub>2</sub>	0,47	0,27	0,25	0,19	1,35	0,54
<b>n-BS</b> % an BS <sub>Ges.</sub>	Kontrolle	71	71	100	89	84	52
	0,05%NO <sub>3</sub>	56	77	100	100	100	52
	0,05%NO <sub>2</sub>	57	100	81	83	100	56
	-keine BS <sub>Ges.</sub>	100	79	-	71	71	59
	0,1%NO <sub>2</sub>	41	36	100	100	-	57
<b>NH<sub>3</sub>-N .</b> % in Ges.-N	Kontrolle	13,63	n.b.	7,72	n.b.	20,38	31,12
	0,05%NO <sub>3</sub>	18,01	n.b.	5,38	n.b.	13,20	36,63
	0,05%NO <sub>2</sub>	7,07	n.b.	5,14	n.b.	9,76	21,30
	0,1%NO <sub>3</sub>	6,55	n.b.	6,78	n.b.	11,48	23,68
	0,1%NO <sub>2</sub>	7,03	n.b.	5,61	n.b.	9,47	19,25

Die BS-Gärung konnte in den Versuchen mit KG durch Nitrat-/Nitrit-Zusatz nur bei geringer Sporenbelastung im Vergleich zur Kontrolle nahezu unterbunden bzw. stark eingeschränkt werden.

Bei erhöhter Sporenbelastung war die Wirkung der Zusätze nicht mehr sicher. Dabei erwies sich 0,05 % Nitrat-N als am wenigsten wirksam. Jedoch auch die anderen Zusätze konnten BS-Gärung nach 180 Tagen nur einschränken. Der Anteil an Iso-Säuren und höheren Homologen der BS (s.Tab.14) an der Gesamt-BS hatte im Vergleich zum 28.Tag zugenommen, d.h. zunehmend könnten Aminosäuren abgebaut worden sein. Die festgestellten Ammoniakgehalte sind jedoch, außer bei Zusatz von 0,05% Nitrat-N, noch nicht wesentlich erhöht.

Beim Versuch mit GLG waren die Unterschiede zwischen geringer und erhöhter Sporenbelastung besonders drastisch.

Während bei Grünfütter mit geringer Sporenbelastung bei 0,05 % igem Zusatz die BS-Bildung in den Silagen im Vergleich zur Kontrolle stark eingeschränkt und bei 0,1% igem Zusatz Clostridienaktivität unterbunden wurde, war das Ausmaß der BS-Gärung infolge Laktatabbau in allen Zusatzvarianten bei erhöhtem Sporenbesatz drastisch angestiegen. Hier lagen auch sehr hohe Ammoniakgehalte und pH-Werte weit über pH 5 vor. Die Gesamt-BS bestand nur noch zur Hälfte aus n-BS.

Die ES-Gehalte lagen bei allen KG-Versuchen und Varianten zwischen 0,6 und 1,9% und waren somit niedrig. Bei den Versuchen mit GLG traten etwas höhere Werte von 2,3 bis 4,2 % auf.

Die Alkoholgehalte waren bei allen Grünfütterarten und Versuchen mit Nitrat-/Nitrit-Zusatz mit Werten überwiegend zwischen 0,1 und 2,0 % sehr niedrig.

*Nach 180 Tagen Gärung war festzustellen, daß in Silagen von clostridiensporenarmem Grünfütter durch 0,1 % Nitrat-/Nitrit-Zusatz die BS-Bildung im Vergleich zur Kontrolle stark eingeschränkt bzw. unterbunden werden konnte. 0,05 % N als Zusatz war nicht mehr zuverlässig wirksam. Bei erhöhter Clostridiensporenbelastung ist die Wirksamkeit aller Stufen der Dosierung von Nitrat/ Nitrit je nach Grünfütter mehr oder weniger unsicher. Stark erhöhte  $\text{NH}_3$ -Gehalte und höhere pH-Werte lagen erst bei sehr hohen BS-Gehalten infolge Laktatabbau vor. Die ES-Gehalte sind auch hier als niedrig einzustufen.*

### **Zusammenfassung aller Ergebnisse**

In Tabelle 16 sind die Ergebnisse zur Wirkung der Nitrat-/Nitrit-Zusätze auf die BS-Gärung im Vergleich zur Kontrolle zusammengestellt.

Bei Zusatz von 0,05 % Nitrat-N (entspricht 2,2 g Nitrat/ kg TS) wurde bereits deutlich, daß der Gärverlauf gegenüber der Kontrolle beeinflusst wird. Diese Konzentration war jedoch nicht ausreichend für eine Stabilisierung des Gärverlaufes und die wirksame Hemmung der Clostridien.

Beim clostridiensporenarmen Grünfütter erwies sich als am wirksamsten der Zusatz von 0,1 % Nitrat-N (entspricht 4,4 g Nitrat/ kg TS), der die BS-Bildung von Gärbeginn bis zum Zeitpunkt der Auslagerung sicher unterdrücken konnte. Die Auswirkungen eines Nitritzusatzes von 0,05 und 0,1 % N auf den Gärverlauf waren zwar ähnlich hinsichtlich der Stimulierung der MS-Gärung und pH-Absenkung, jedoch konnte BS-Bildung, besonders zum Ende der Lagerung, nicht in jedem Falle verhindert werden.

Tabelle 16: Wirkung der Nitrat-/Nitrit-Zusätze auf BS-Gärung nach 180 Tagen in allen Versuchen (Zusammenfassung)

Sporenbesatz		gering			erhöht		
		KG, 1.Aufw.	KG, 2.Aufw.	GLG, 1.Aufw.	KG, 1.Aufw.	KG, 2.Aufw.	GLG, 1.Aufw.
<b>VK</b>		61	36	28	64	38	29
	0,05%NO <sub>3</sub>	<b>o</b>	<b>x</b>	<b>o</b>	<b>BS</b>	<b>o</b>	<b>BS</b>
	0,05%NO <sub>2</sub>	<b>x</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>BS</b>
	0,1%NO <sub>3</sub>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>BS</b>
	0,1%NO <sub>2</sub>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>x</b>	<b>o</b>	<b>x</b>	<b>BS</b>

o : BS-Bildung im Vergleich zur Kontrolle eingeschränkt

x : BS-Bildung im Vergleich zur Kontrolle unterdrückt

BS: BS-Bildung vergleichbar mit der Kontrolle

Bei zusätzlicher Belastung des Grünfutters mit Clostridiensporen konnte BS-Bildung höchstens eingeschränkt werden. Der Zusatz von 0,1 % Nitrat/Nitrit war nicht mehr ausreichend zur Unterbindung von Fehlgärungen.

Damit ergibt sich zwangsläufig die Frage nach dem notwendigen Mindestnitratgehalt im Grünfutter, von dem an Clostridienaktivität wirksam unterbunden werden kann.

Nitratgehalte  $\leq 1\text{g NO}_3/\text{kg TS}$  im Grünfutter, wie in der Literatur angegeben (WEIßBACH und HONIG, 1996; WEIßBACH, 1998) sind nach diesen Ergebnissen nicht ausreichend, um bei der Silierung in jedem Falle fahlgärungsfreie Silagen zu erzielen. Ein Grenzwert kann aus diesen Versuchen jedoch noch nicht abgeleitet werden.

Die durchgeführten Versuche mit nitratarmem Grünfutter verschiedener Pflanzenarten, Vegetationsstadien und unterschiedlich hohem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Nitrat und Nitrit konnten im Ergebnis die Arbeitshypothese bestätigen, daß die BS-Gärung von Gärbeginn an durch das Fehlen des natürlichen Clostridieninhibitors Nitrat im Gärsubstrat verursacht wird.

Es muß demzufolge bei Fehlen oder Mangel an Nitrat im Gärsubstrat mit dem Auftreten von frühzeitiger BS-Bildung gerechnet werden, da die inhibitorische Wirkung auf Clostridien fehlt. Diese „Anfangs-Buttersäuregärung“ tritt auch dann auf, wenn infolge intensiver MS-Gärung der pH-Wert abgesenkt wurde. Die Ammoniak- und Essigsäuregehalte waren aber, unabhängig von dieser „Anfangs-Buttersäuregärung“, in allen Versuchen und Varianten stets sehr niedrig.

Aus dem veränderten, im Vergleich zum bisher bekannten, Gärproduktmuster in den verschiedenen Gärungsstadien ist erkennbar, daß auch die Stoffumsetzungen im weiteren Verlauf der Gärung bei Fehlen von Nitrat im Gärsubstrat wesentlich anders erfolgen. Sehr hohe Ammoniakgehalte und erhöhte pH-Werte traten erst infolge des Laktatabbaus auf, wenn im Ergebnis von Fehlgärungen insgesamt bereits Eiweiß- und Aminosäurenabbau stattgefunden hatte.

Die Essigsäure- und Alkoholgehalte waren nahezu in allen Gärungsstadien und Versuchen extrem niedrig.

#### 4.1.3 Gärungsverlauf bei Zusatz von Milchsäurebakterien und Ameisensäure

In den vorangegangenen Untersuchungen wurde festgestellt, daß das Fehlen von Nitrat im Grünfutter negative Auswirkungen auf den Gärungsverlauf hat. Zur Klärung der Frage, ob und inwieweit dieser negative Effekt durch Beschleunigung der

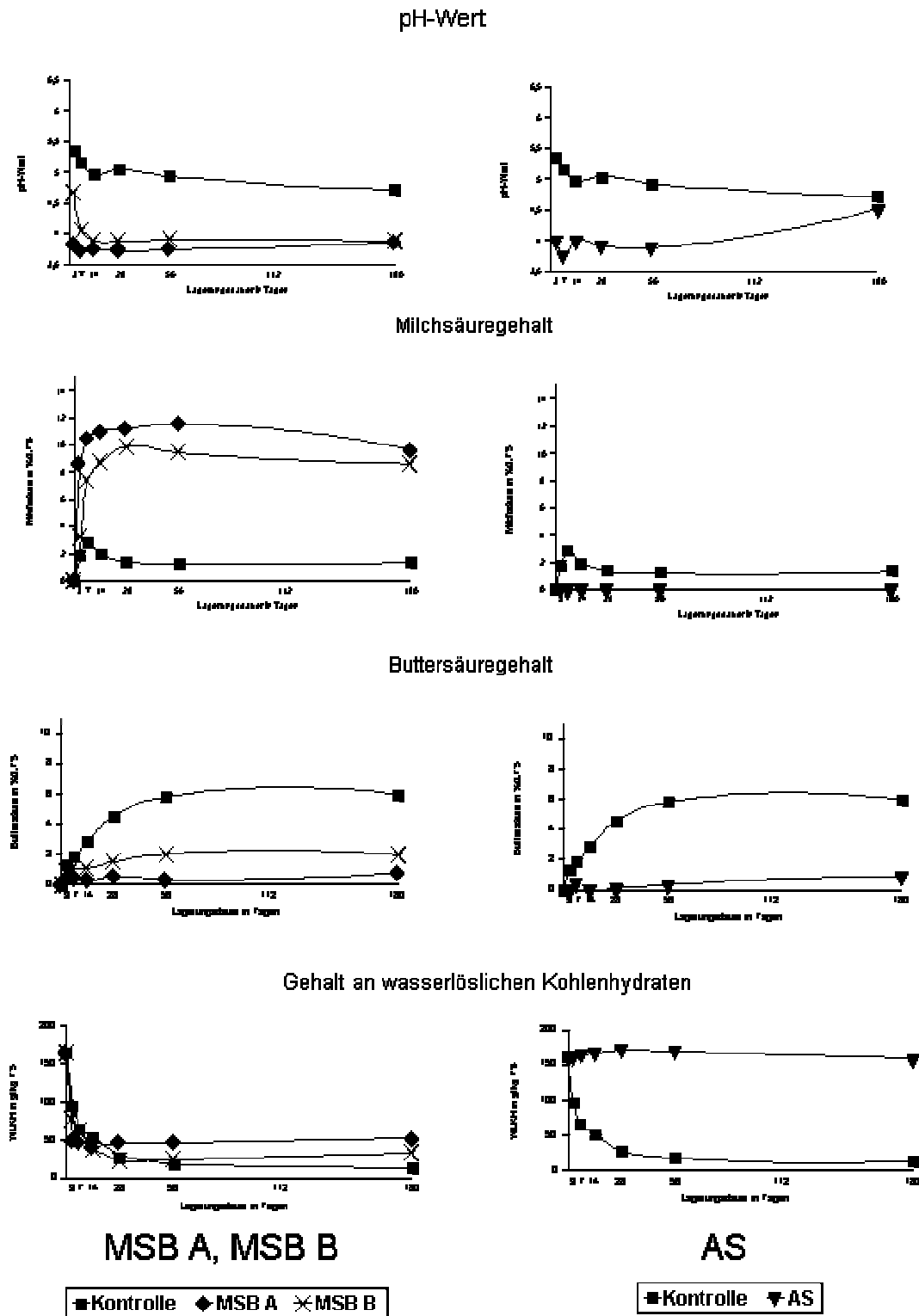


Abbildung 18: Gärungsverlauf von Knaulgras, 1.Aufwuchs, bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS); geringer Clostridiensporenbesatz ( $1,5 \times 10^2$  MPN/ g FM)

Ansäuerung zu Gärbeginn infolge intensiverer MS-Gärung oder durch Säurezusatz kompensiert werden kann, wurden in den Versuchen bei geringem und erhöhtem Clostridiensporenbesatz des Grünfutters Zusätze von Inoculantien und Ameisensäure geprüft. Die beiden eingesetzten Milchsäurebakterienpräparate, gegenwärtig auf dem Markt, unterscheiden sich hinsichtlich der enthaltenen Stämme. In den Abbildungen zu den Gärverläufen des Grünfutters bei geringem und erhöhtem Clostridiensporenbesatz ist jeweils der Verlauf bei Zusatz von Inoculantien dem mit Ameisensäure für KG, 1. und 2. Aufwuchs, sowie für GLG gegenübergestellt.

#### 4.1.3.1 Gärungsverlauf in Grünfutter mit geringem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Milchsäurebakterien und Ameisensäure

##### Knaulgras, 1. Aufwuchs (1/93) mit geringem Clostridiensporenbesatz

Aus der Darstellung für den Versuch mit leicht vergärbarem KG des 1. Aufwuchses (Abb. 18) ist ersichtlich, daß durch den Zusatz von Inoculantien MS-Gärung und pH-Wert-Absenkung bereits bis zum 7. Tag im Vergleich zur Kontrolle wesentlich intensiviert wurden. Die bis zum 28. Tag stark gestiegenen MS-Gehalte blieben dann nahezu konstant. Trotzdem konnte die frühzeitige BS-Gärung mit MSB-Zusatz nur eingeschränkt, aber nicht unterbunden werden. In der Wirksamkeit beider MSB-Präparate zeigten sich hinsichtlich der Höhe der MS- und BS-Gehalte Unterschiede.

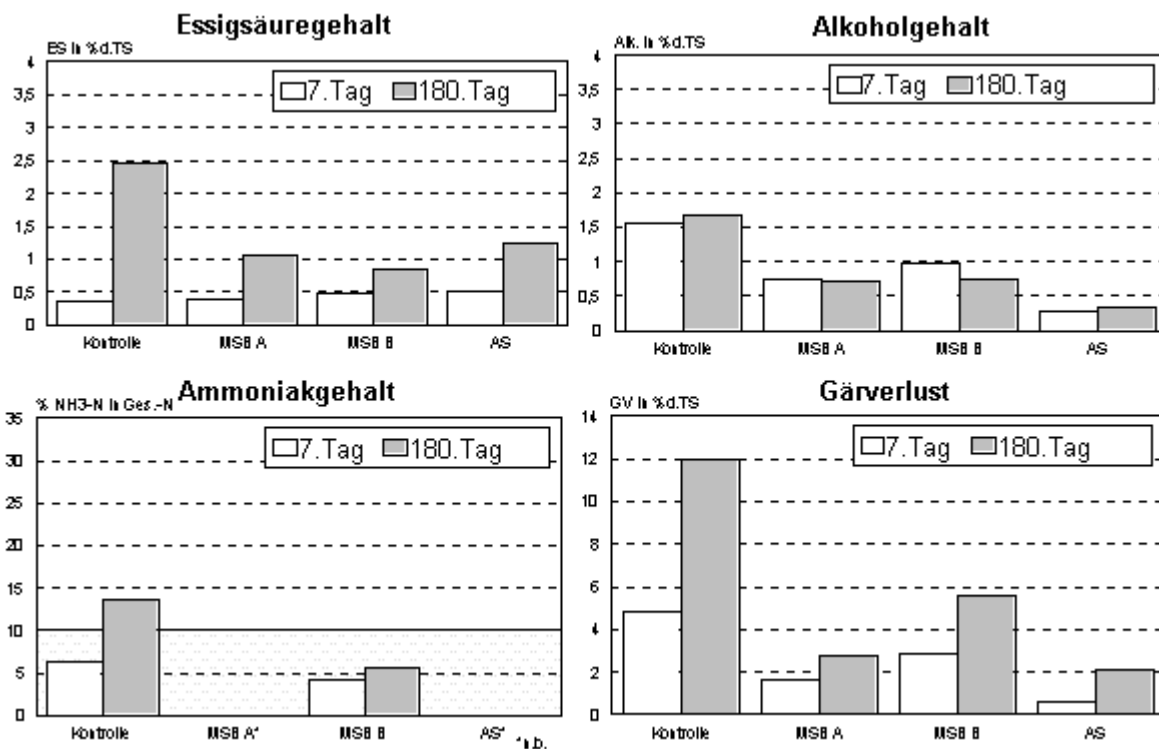
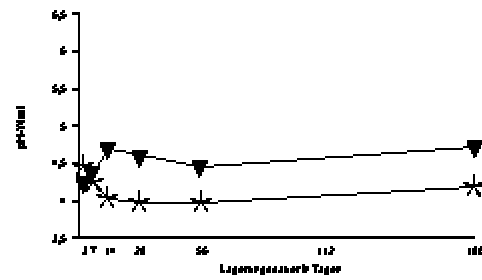
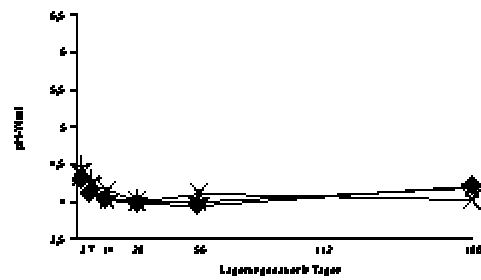


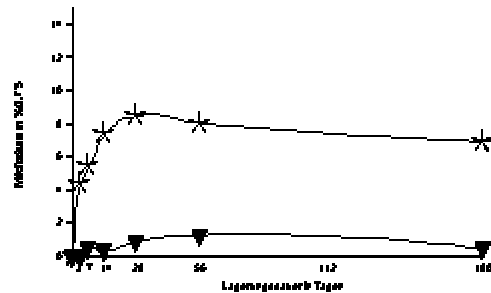
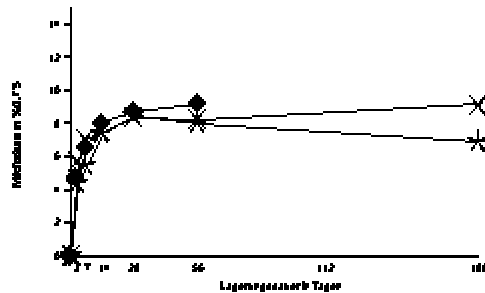
Abbildung 19: Gehalt an Essigsäure, Ammoniak und Alkohol (Ethanol+Propanol) sowie Gärverluste von Knaulgras, 1. Aufwuchs, mit geringem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS)

Die Ammoniakgehalte (s. Abb. 19) in der Variante mit MSB lagen weit unterhalb von 10% NH<sub>3</sub>-N an Ges.-N. Aus technischen Gründen wurden sie nicht bei den Varianten mit MSB- A-Zusatz analysiert. Die Gärverluste wurden durch Inoculantien ganz wesentlich, die niedrigen Alkohol- und ES-Gehalte im Vergleich zur Kontrolle noch reduziert.

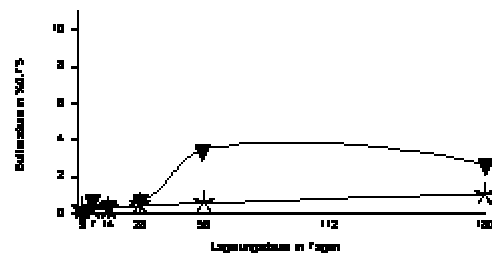
## pH-Wert



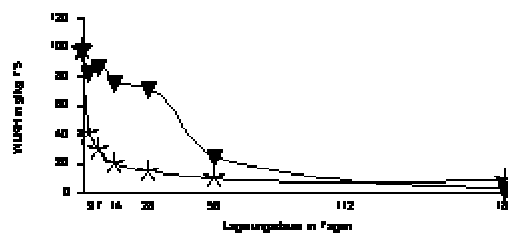
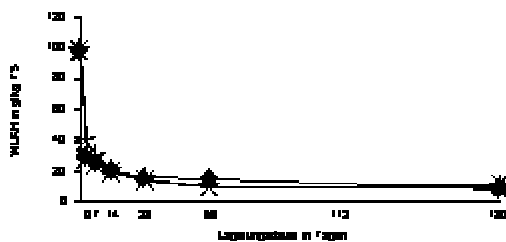
## Milchsäuregehalt



## Buttersäuregehalt



## Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten



MSB A, MSB B

☆ Kontrolle	◆ MSB A	✕ MSB B
-------------	---------	---------

AS

☆ Kontrolle	▼ AS
-------------	------

Abbildung 20: Gärungsverlauf von Knaulgras, 2.Aufwuchs, bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS), geringer Clostridiensporenbesatz ( $3 \times 10^2$  MPN/ g FM)

Durch den Zusatz von Ameisensäure konnte zwar der pH-Wert auf etwa 4,0 und damit gegenüber der Kontrolle sehr schnell abgesenkt werden. Die MS-Gärung war aber in diesem Falle von Gärbeginn an völlig ausgeschaltet. Die BS-Bildung war zunächst ebenfalls unterbunden worden. Nach dem 56.Tag stieg jedoch der pH-Wert an und Buttersäure wurde bis zu einem Gehalt von 0,9 % d. TS nach 180 Tagen gebildet. Alkohol- und ES-Gehalte sowie Gärverluste waren niedriger als in der Kontrolle. Wasserlösliche Kohlenhydrate wurden, entsprechend der geringen Gärungstätigkeit im gesamten Gärungsverlauf, nicht nachweislich abgebaut.

*Im Versuch mit Knaulgras des 1. Aufwuchses bei geringem Clostridiensporenbesatz konnte BS-Gärung durch MSB-Zusatz und trotz pH-Absenkung, nur eingeschränkt, nicht unterbunden werden. Durch AS-Zusatz wurde MS-Gärung völlig, BS-Gärung stark unterdrückt. Die ES- und  $\text{NH}_3$ -Gehalte waren stets sehr niedrig.*

### Knaulgras, 2. Aufwuchs (16/93) mit geringem Clostridiensporenbesatz

Im Gärverlauf bei KG des 2. Aufwuchses (s. Abb. 20) waren die Unterschiede bezüglich pH-Verlauf und MS-Gärung mit Inoculantien im Vergleich zur Kontrolle nur gering.

Die in der Kontrollvariante aufgetretene frühzeitige BS-Gärung mit 1,0 % BS am Ende der Lagerung konnte insbesondere durch Zusatz von MSB B auf 0,4 % d.TS reduziert werden. Mit beiden MSB-Präparaten trat jedoch auch bei diesem Versuch BS-Bildung von Gärbeginn an, wenn auch in vergleichsweise geringem Ausmaß, auf. Wasserlösliche Kohlenhydrate wurden im Gärverlauf gleichermaßen abgebaut.

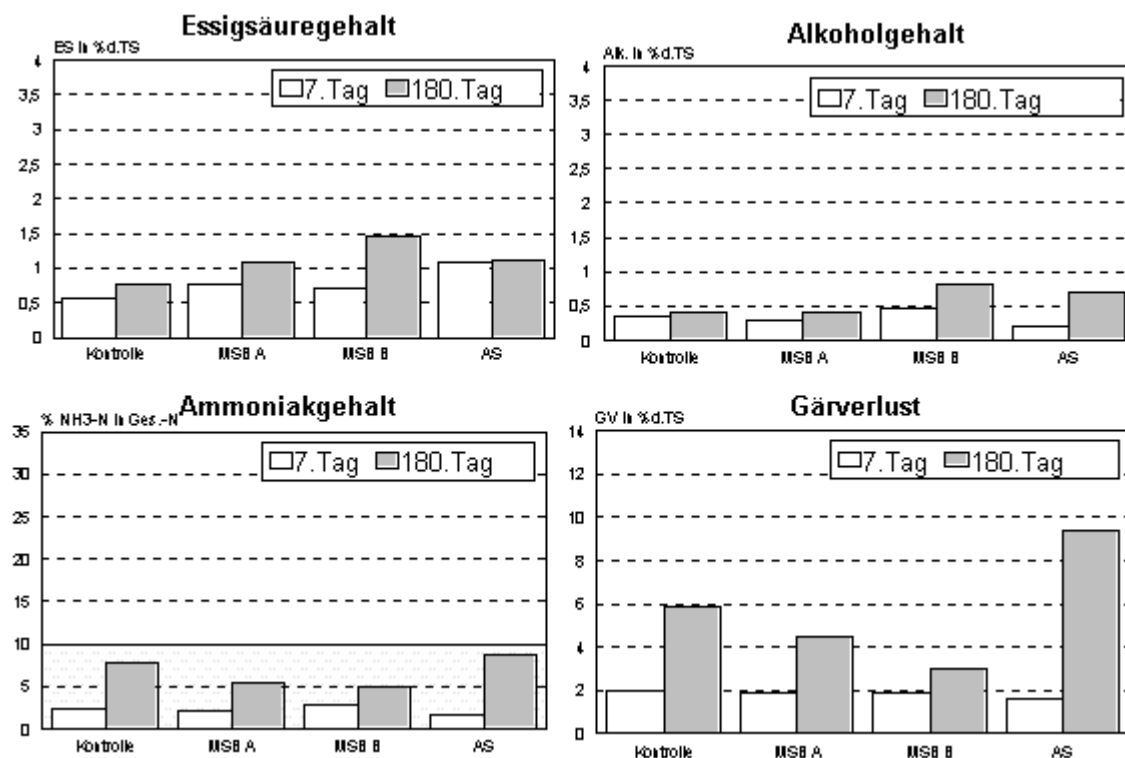


Abbildung 21: Gehalt an Essigsäure, Ammoniak und Alkohol (Ethanol+Propanol) sowie Gärverluste von Knaulgras, 2. Aufwuchs, mit geringem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS)

Bei Ameisensäurezusatz wurde anfangs noch geringfügig Milchsäure gebildet, die jedoch nach 56 Tagen, im weiteren Gärverlauf, wieder abgebaut wurde.

Nach dem 28.Tag setzte BS-Gärung ein, die im Vergleich zur Kontrolle sehr viel intensiver ablief und bis zum 56. Tag auf ca. 4% Buttersäure anstieg.

Wasserlösliche Kohlenhydrate wurden dementsprechend ab dem 28.Tag stärker abgebaut.

Die Gärverluste waren nur bei dieser Variante, entsprechend dem Ausmaß der BS-Bildung, im Vergleich zur Kontrolle nach 180 Tagen deutlich erhöht (s.Abb. 21).

Essigsäure-, Alkohol- und Ammoniakgehalte (s.Abb. 21) waren in allen Varianten sehr niedrig.

*Bei der Silierung von Knaulgras des 2. Aufwuchses bei geringem Clostridiensporenbesatz wurde durch MSB-Zusatz die in der Kontrolle geringe BS-Gärung weiter eingeschränkt. Bei AS- Zusatz wurde Buttersäure, mehr als in der Kontrolle, gebildet. ES- und  $\text{NH}_3$ -Gehalte waren aber in allen Varianten sehr niedrig.*

#### **Gras-Leguminosen-Gemenge, 1. Aufwuchs (1/94) mit geringem Clostridiensporenbesatz**

Aus Abbildung 22 zum Gärverlauf in GLG geht hervor, daß durch Zusatz von Inoculantien kaum eine Veränderung des Gärverlaufes im Vergleich zur Kontrolle erreicht werden konnte. pH-Wert-Änderung und MS-Gärung waren in den ersten Gärungstagen, wie in den Kontrollsilagen, sehr intensiv abgelaufen. Der Beginn des Laktatabbaus wurde durch die Inoculantien im Vergleich zur Kontrolle um 3 bis 4 Wochen verzögert. Im Gegensatz zur Kontrolle war dann aber am 180.Tag keine Milchsäure mehr nachweisbar.

Durch den Zusatz von Ameisensäure sank der pH-Wert auf 4,0 und blieb im Gärverlauf so niedrig. MS-Gärung, in geringem Ausmaß, fand erst nach dem 56. Tag statt. Die BS-Gärung konnte in den ersten 14 Tagen ebenso unterdrückt werden. Danach stiegen die Gehalte auf maximal ca. 1,3 % Buttersäure d.TS an. Ein Abbau wasserlöslicher Kohlenhydrate konnte nicht nachgewiesen werden. Am Ende der Lagerung waren sehr hohe Zuckergehalte vorhanden.

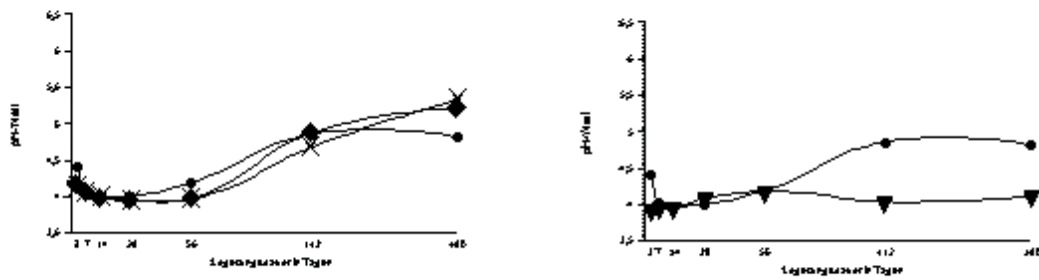
Entsprechend dem Ausmaß des Laktatabbaus und der damit verbundenen intensiven BS-Bildung in den MSB-Varianten waren die Ammoniakgehalte und Gärverluste sehr hoch (s. Abb. 23). Im Zusammenhang mit dem Auftreten dieser hohen BS-Gehalte sind die trotzdem niedrigen ES-Gehalte bemerkenswert, die im Verlauf der Gärung nicht über 3 % in TS anstiegen. Die Alkoholgehalte lagen dagegen am 180.Tag mit Werten von 2,4 bis 3,5 % etwas höher, als sonst festgestellt wurde.

Entsprechend der geringeren Gärungsintensität bei AS-Zusatz waren Alkohol- und Ammoniakgehalte sowie Gärverluste gegenüber der Kontrolle deutlich verringert. Die ES-Gehalte waren ebenfalls niedrig.

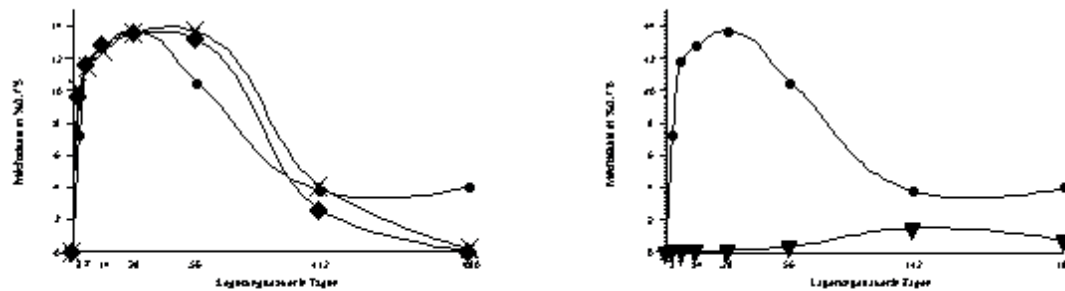
*Im Versuch mit Gras- Leguminosen-Gemenge des 1. Aufwuchses bei niedrigem Sporenbesatz konnte mit MSB- und AS-Zusatz die BS-Bildung zu Gärbeginn, die in der Kontrolle auftrat, eingeschränkt bzw. hinausgezögert werden. Laktatabbau fand dann trotz MSB-Zusatz statt, in deren Folge die  $\text{NH}_3$ -Gehalte anstiegen. Die ES-Gehalte waren dagegen stets extrem niedrig.*



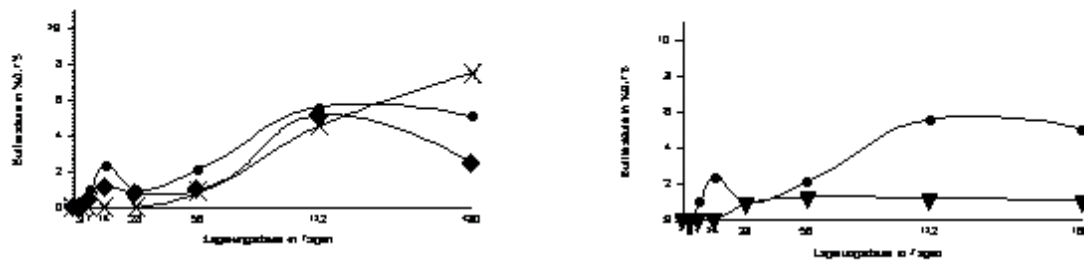
## pH-Wert



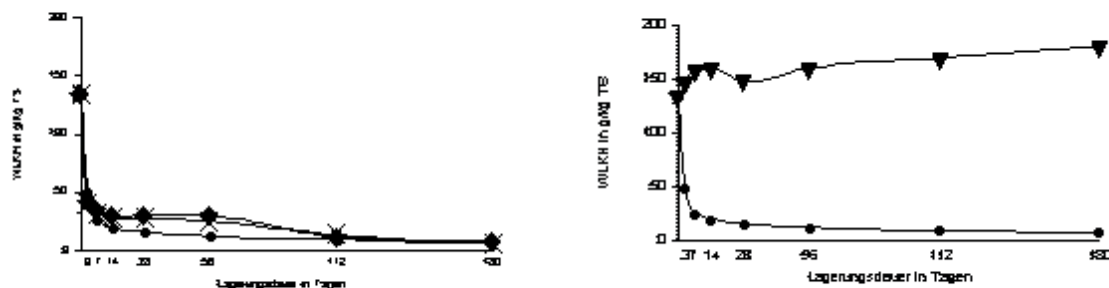
## Milchsäuregehalt



## Buttersäuregehalt



## Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten



MSB A; MSB B

◆ Kontrolle ◆ MSB A × MSB B

AS

◆ Kontrolle ▼ AS

Abbildung 22: Gärungsverlauf von Gras-Leguminosen-Gemenge, 1. Aufwuchs, bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS); geringer Clostridiensporenbesatz ( $1,2 \times 10^3$  MPN/g FM)

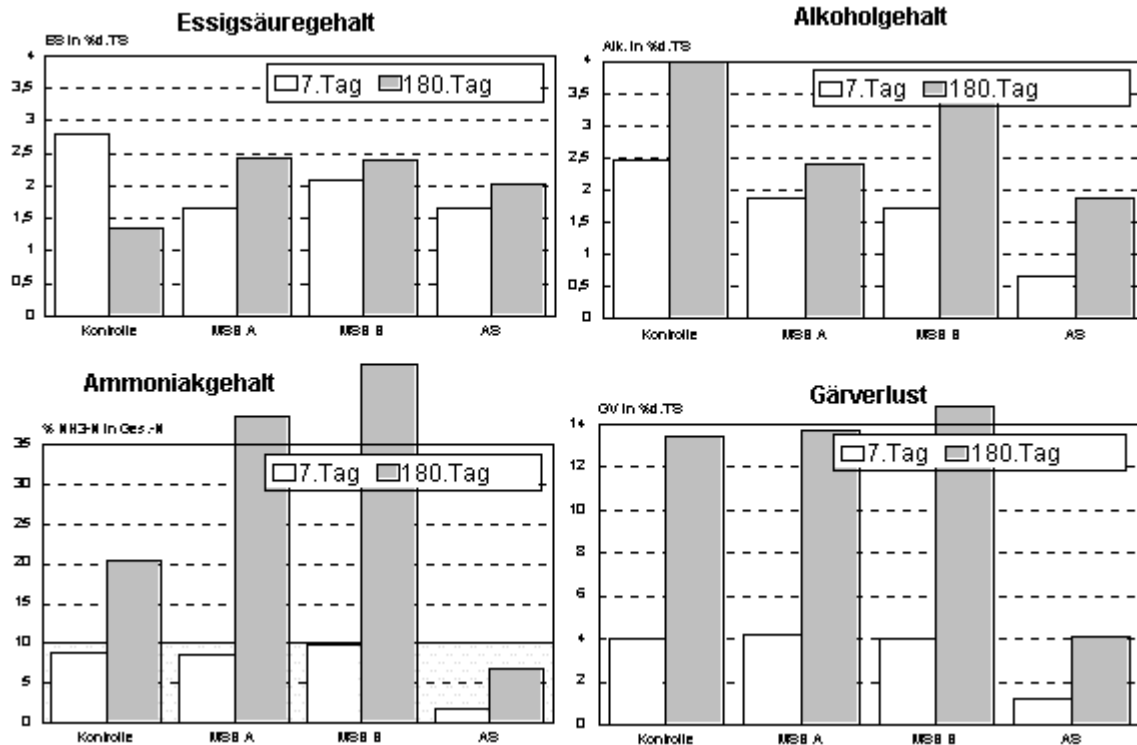


Abbildung 23: Gehalt an Essigsäure, Ammoniak und Alkohol (Ethanol+Propanol) sowie Gärverluste von Gras-Leguminosen-Gemenge, 1. Aufwuchs, mit geringem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS)

#### 4.1.3.2 Gärungsverlauf in Grünfutter mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Milchsäurebakterien und Ameisensäure

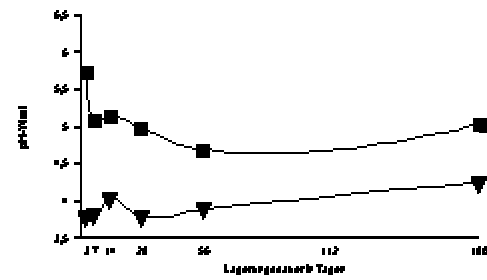
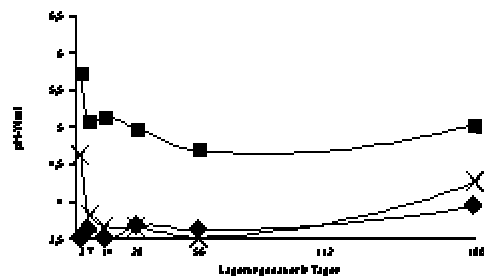
##### Knaulgras, 1. Aufwuchs (3/93) mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz

Im Versuch mit leicht vergärbarem KG bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz und Inoculantien (s. Abb. 24) konnte der pH-Wert in den ersten Gärungstagen durch schnelle MS-Bildung zwar deutlich stärker im Vergleich zur Kontrolle gesenkt werden. Trotz dieser ausgeprägten MS-Gärung war in den MSB-Varianten Buttersäure von Gärbeginn an vorhanden, im Vergleich zur Kontrolle jedoch mit niedrigeren Gehalten. Dabei wurde mit MSB A insbesondere in den ersten Gärungstagen mehr Milchsäure als mit MSB B gebildet. Die BS-Gärung erreichte in beiden MSB-Varianten, wenn auch unterschiedlich schnell, das gleiche Ausmaß von ca. 3 % d. TS.

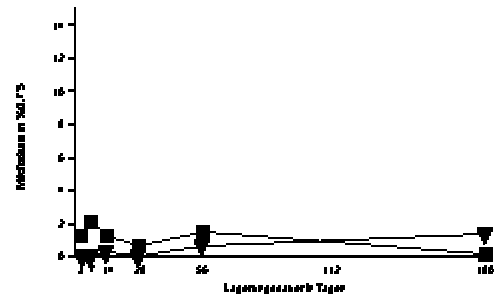
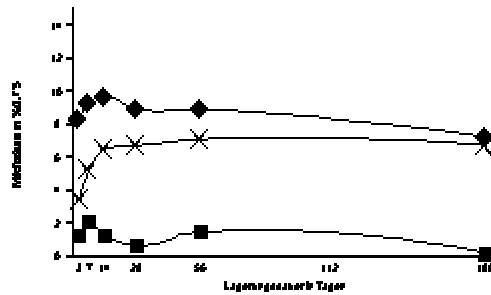
Durch Ameisensäurezusatz konnte der pH-Wert gesenkt werden. Milchsäure, in geringem Ausmaß, wurde in den Silagen mit AS-Zusatz erst im Verlauf der Gärung ab ca. 28. Tag gebildet. Buttersäure wurde von Gärbeginn an gebildet. Die BS-Gärung erreichte jedoch mit BS-Gehalten zwischen 0,6 bis 0,7 % jedoch im gesamten Gärverlauf nur ein geringes Ausmaß. Der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten war nach 180 Tagen Lagerung so hoch wie zu Gärbeginn.

Essigsäure- und Alkoholgehalte waren in allen Zusatzvarianten sehr niedrig. Die Gärverluste waren in den Varianten mit MSB-Präparaten im Vergleich zur Kontrolle deutlich niedriger. Mit AS-Zusatz waren die Verluste sehr gering (s. Abb. 25).

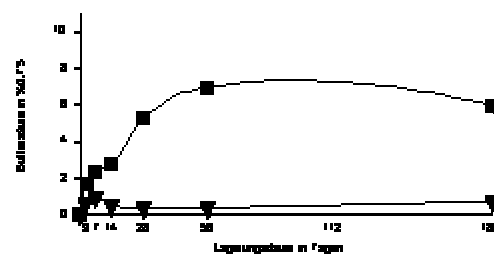
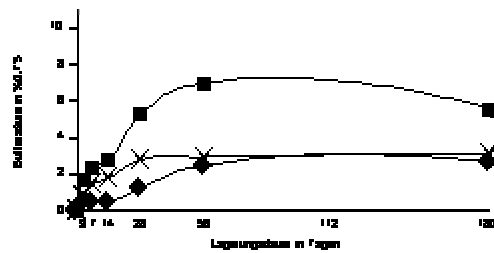
## pH-Wert



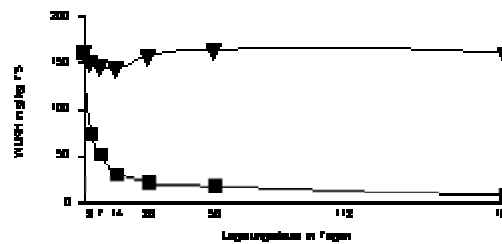
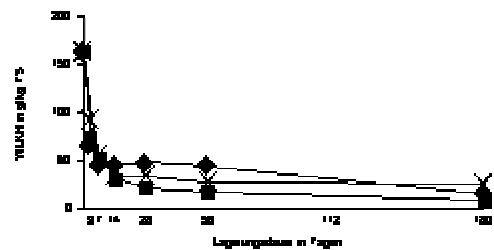
## Milchsäuregehalt



## Buttersäuregehalt



## Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten



MSB A, MSB B

■ Kontrolle ◆ MSB A × MSB B

AS

■ Kontrolle ▼ AS

Abbildung 24: Gärungsverlauf von Knaulgras, 1.Aufwuchs, bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS), erhöhter Clostridiensporenbesatz ( $3,5 \times 10^3$  MPN/ g FM)

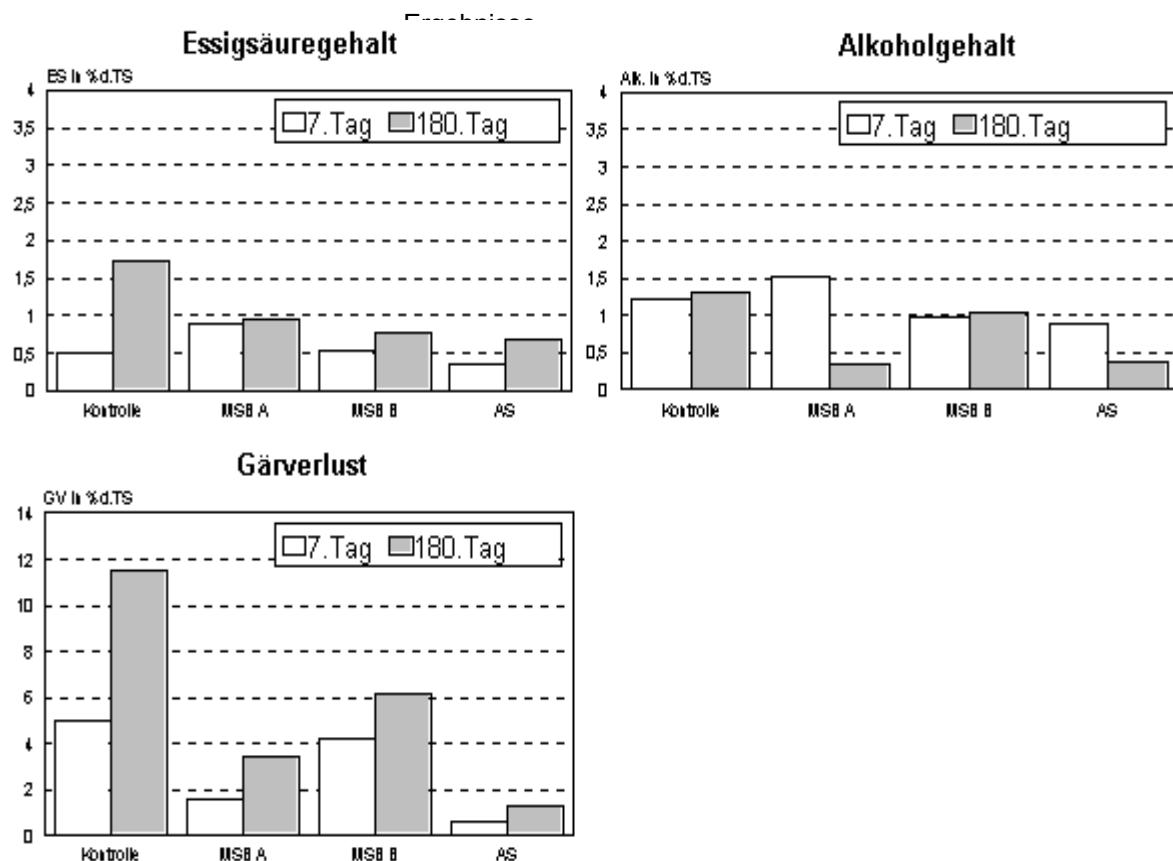


Abbildung 25: Gehalt an Essigsäure und Alkohol (Ethanol+Propanol) sowie Gärverluste von Knaulgras, 1. Aufwuchs, mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS)

*Im Versuch mit Knaulgras des 1. Aufwuchses bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz konnte BS-Bildung durch MSB-Zusatz nur eingeschränkt werden. Durch AS-Zusatz konnte BS-Gärung nahezu unterbunden werden. Die pH-Werte stiegen in beiden Fällen im Gärverlauf nur langsam an. Die ES-Gehalte waren stets extrem niedrig.*

### Knaulgras, 2. Aufwuchs (18/93) mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz

Bei KG des 2. Aufwuchses mit erhöhter Sporenzahl (s. Abb. 26) konnte der Gärverlauf im Vergleich zur Kontrolle durch Zusatz der Inoculantien nicht wesentlich beeinflusst und somit die Säuerung nicht stärker gefördert werden. Der nach dem 28. Tag einsetzende Laktatabbau verlief in der Variante mit Zusatz von MSB B ähnlich wie in der Kontrollvariante. Das Präparat MSB A bewirkte eine gewisse Verzögerung des Laktatabbaus.

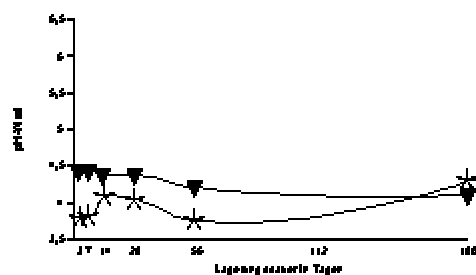
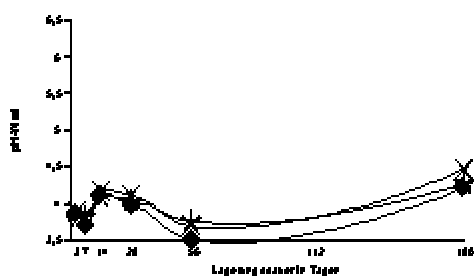
Buttersäure war trotz schneller Anfangssäuerung ohne und mit MSB-Zusatz von Gärbeginn an nachweisbar. Infolge des Laktatabbaus stiegen die BS-Gehalte in allen Varianten fast parallel und stetig an. Mit Werten von 4,6 bzw. 5,6 % BS lagen zum Gärungsende relativ hohe BS-Gehalte vor.

Wasserlösliche Kohlenhydrate wurden in allen Varianten gleichermaßen abgebaut.

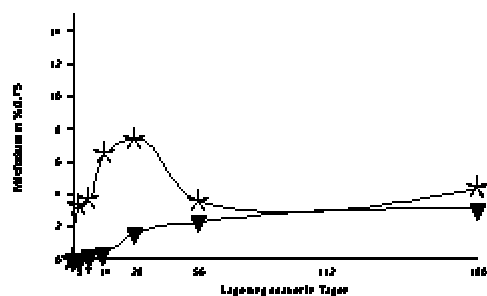
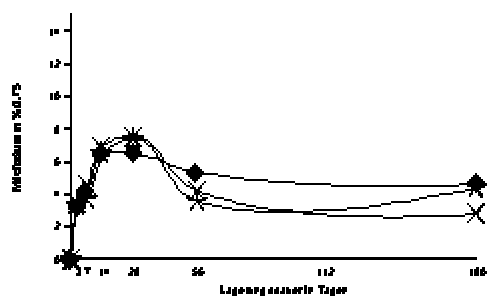
Durch AS-Zusatz wurde die biologische Säuerung infolge MS-Gärung in den ersten Gärungstagen unterdrückt. Erst ab ca. 14. Tag wurde Milchsäure allmählich und in geringem Ausmaß gebildet. BS-Gärung trat ebenfalls erst nach ca. 14 Tagen auf und erreichte BS-Gehalte von ca. 2 %. Intensive BS-Bildung infolge Laktatabbau wie in der Kontrollvariante konnte verhindert werden. Die ES-Gehalte (s. Abb. 27) waren hier mit 3,1 % im Vergleich zu den anderen Varianten relativ hoch.

Ansonsten bestanden bei Essigsäure- und Alkoholgehalten sowie Gärverlusten, die im gesamten Gärverlauf niedrig blieben, kaum Unterschiede zwischen den Varianten.

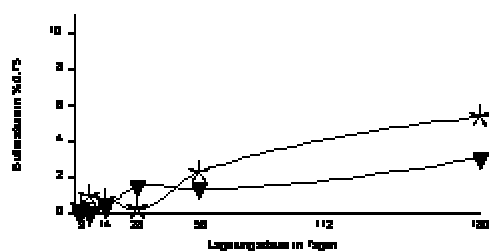
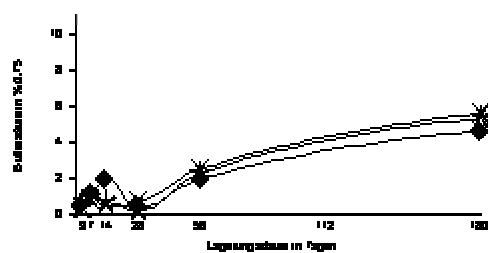
## pH-Wert



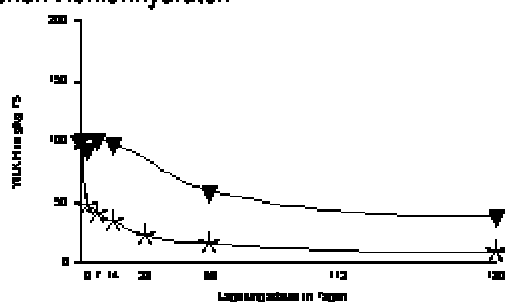
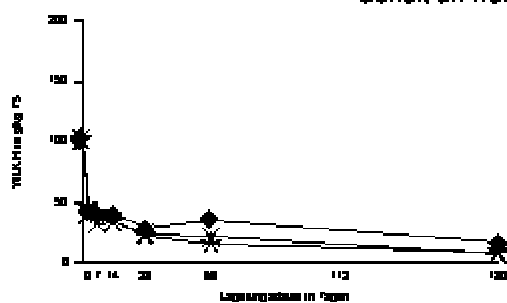
## Milchsäuregehalt



## Buttersäuregehalt



## Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten



MSB A, MSB B

☆ Kontrolle ◆ MSB A ✕ MSB B

AS

☆ Kontrolle ▼ AS

Abbildung 26: Gärungsverlauf von Knaulgras, 2.Aufwuchs, bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS), erhöhter Clostridiensporenbesatz ( $2,1 \times 10^3$  MPN/ g FM)

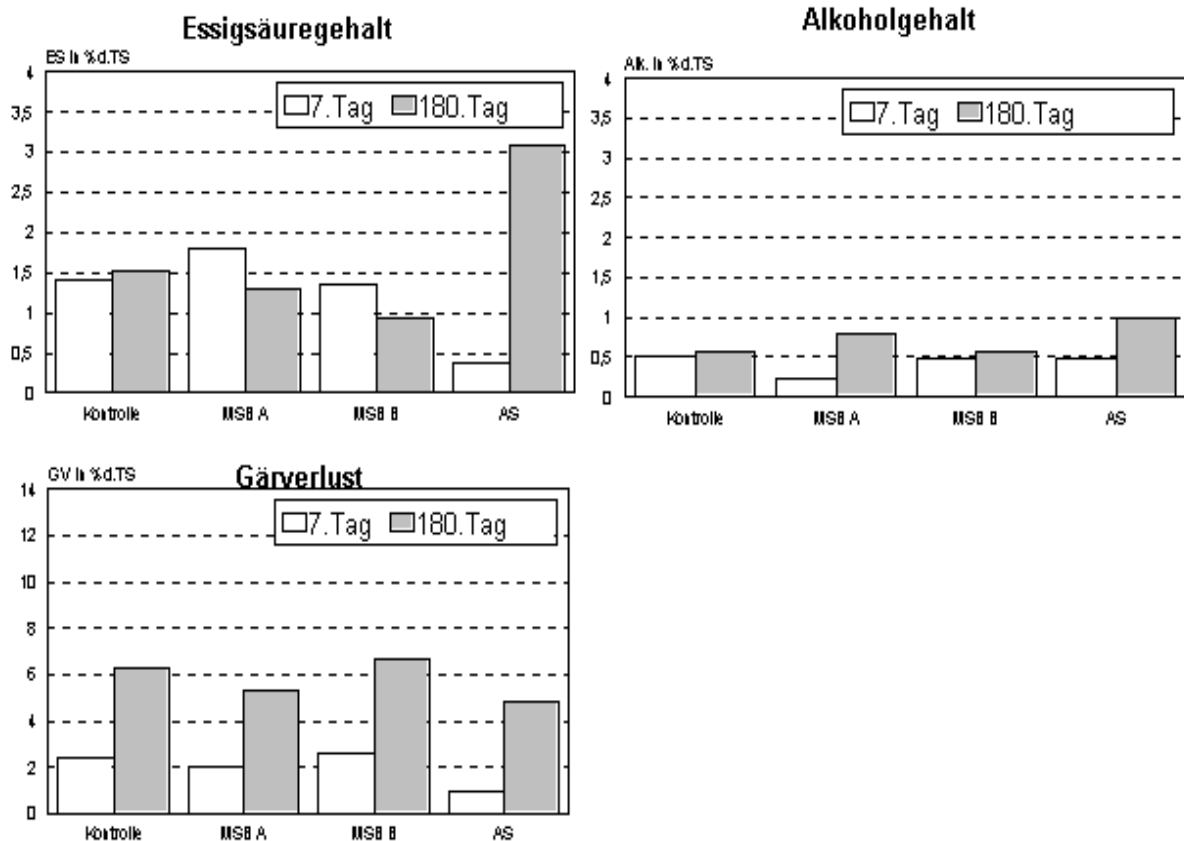


Abbildung 27: Gehalt an Essigsäure und Alkohol (Ethanol+Propanol) sowie Gärverluste von Knautgras, 2. Aufwuchs, mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS)

*Im Versuch mit Knautgras des 2. Aufwuchses bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz konnte sowohl BS-Gärung zu Gärbeginn als auch die intensive BS-Bildung infolge Laktatabbau durch MSB-Zusatz nicht verhindert werden, so daß auch die pH-Werte wieder anstiegen. In den Silagen mit AS-Zusatz trat, bei höheren pH-Werten als in der Kontrolle, BS-Bildung in geringerem Umfang auf. Die ES-Gehalte sind insgesamt als niedrig zu bezeichnen.*

#### Gras-Leguminosen-Gemenge, 1.Aufwuchs (2/94) mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz

Aus Abbildung 28 zum Versuch mit GLG bei erhöhtem Sporenbesatz ist ersichtlich, daß durch MSB-Zusatz der Verlauf der Gärung hinsichtlich pH-Absenkung, MS- und BS-Gärung sowie Abbau wasserlöslicher Kohlenhydrate nicht wesentlich beeinflusst wurde.

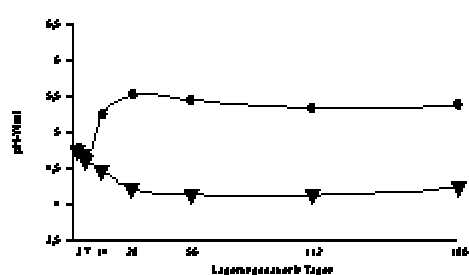
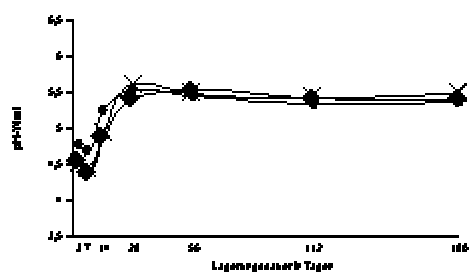
Demzufolge fand auch trotz MSB-Zusatz in den Silagen Laktatabbau statt. Die BS-Gehalte waren mit fast 10 % am 180.Tag sehr hoch. Ebenso wiesen die Ammoniakgehalte (s. Abb. 29) mit über 30 % am 180.Tag sehr hohe Werte auf. Dementsprechend hoch waren die Verluste in den Silagen.

Die ES-Gehalte sind aber im gesamten Gärverlauf sowohl mit MSB A, als auch mit MSB B nicht über 3 % angestiegen.

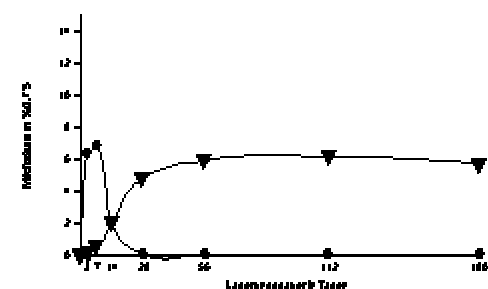
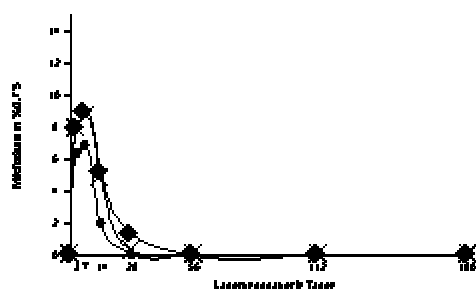
Dagegen bewirkte der AS-Zusatz bei, zwar langsamen, pH-Rückgang eine Förderung der MS-Gärung, die jedoch erst ab ca. 7. Tag ablief. Die frühzeitige BS-Gärung bis zu Gehalten von 2 % BS war bereits nach 7 Tagen zum Stillstand gekommen. Sie blieb bis zum Zeitpunkt der Auslagerung auf diesem Niveau. Im Vergleich zur Kontrolle konnte der Laktatabbau verhindert werden.

Der Abbau wasserlöslicher Kohlenhydrate verlief deutlich langsamer als in der Kontrollvariante. Am Ende der Gärung lagen höhere Restzuckergehalte vor.

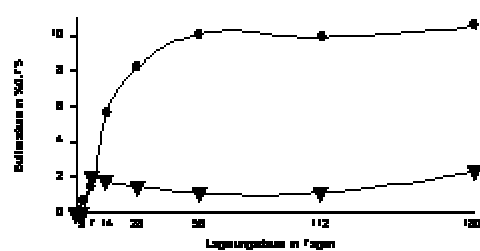
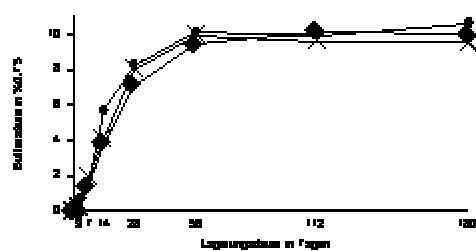
## pH-Wert



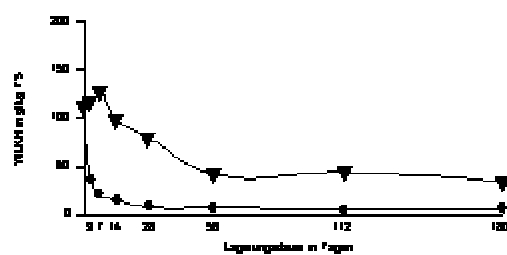
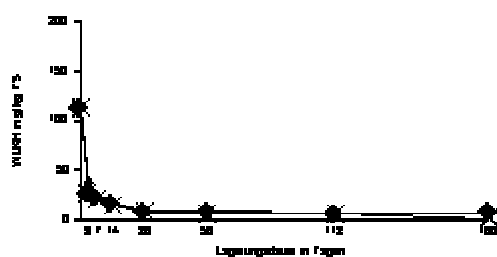
## Milchsäuregehalt



## Buttersäuregehalt



## Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten



MSB A, MSB B

• Kontrolle	◆ MSB A	✕ MSB B
-------------	---------	---------

AS

• Kontrolle	▼ AS
-------------	------

Abbildung 28: Gärungsverlauf von Gras-Leguminosen-Gemenge, 1. Aufwuchs, bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS), erhöhter Clostridiensporenbesatz ( $2,9 \times 10^3$  MPN/g FM)

Gärverluste und Ammoniakgehalte (s. Abb. 29) waren entsprechend der stark eingeschränkten BS-Gärung bei AS-Zusatz viel geringer als bei den anderen Varianten. Ebenso waren die ES-Gehalte gering. Die Alkoholgehalte waren in allen Varianten sehr niedrig.

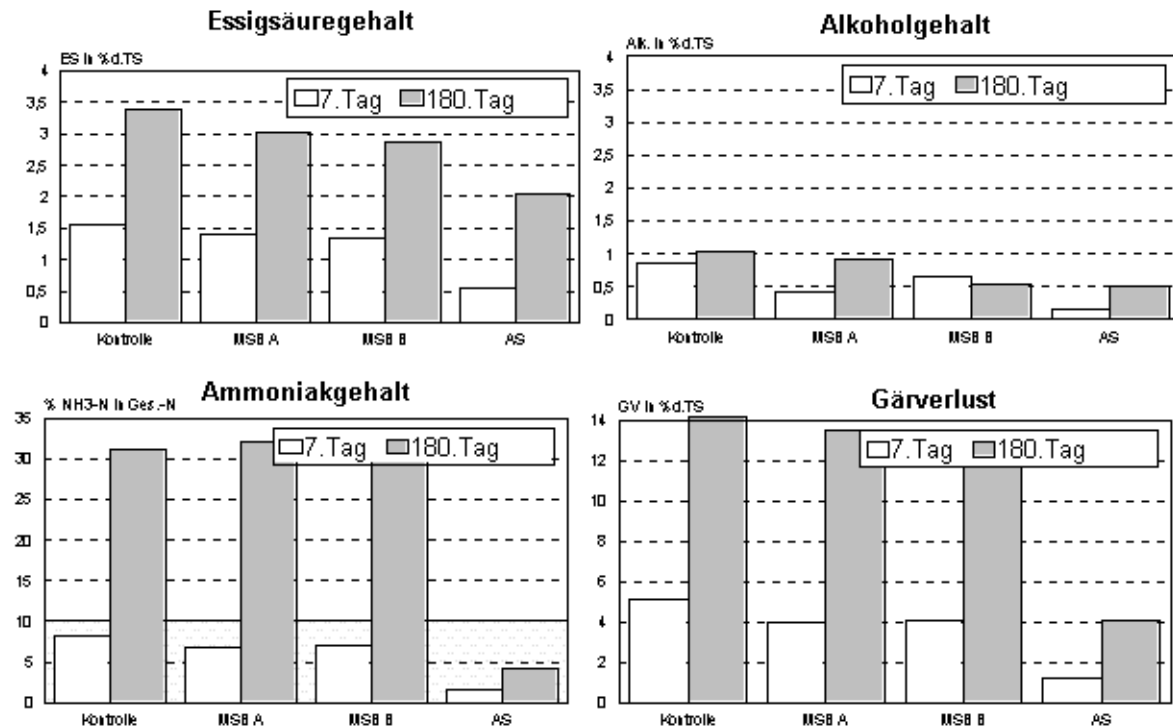


Abbildung 29: Gehalt an Essigsäure, Ammoniak und Alkohol (Ethanol+Propanol) sowie Gärverluste von Gras-Leguminosen-Gemenge, 1. Aufwuchs, mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS)

Im Versuch mit Gras-Leguminosen-Gemenge des 1. Aufwuchses bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz konnte durch MSB-Zusatz sowohl BS-Bildung zu Gärbeginn als auch ein Ansteigen der BS- und  $\text{NH}_3$ -Gehalte sowie der pH-Werte infolge Laktatabbau nicht verhindert werden. Durch AS-Zusatz dagegen wurde der pH-Wert gesenkt, konnte Laktatabbau verhindert sowie BS-Bildung eingeschränkt werden. Die  $\text{NH}_3$ -Gehalte blieben hierbei gering. Die ES-Gehalte waren in allen Varianten niedrig.

#### 4.1.3.3 Vergleich der Gärungsverläufe bei MSB- und AS-Zusatz in Abhängigkeit von der Höhe des Clostridiensporenbesatzes

Nachfolgend sollen die Gärproduktmuster der Silagen aus den einzelnen Versuchen bei geringem und erhöhtem Clostridiensporenbesatz mit den Zusätzen MSB A und B sowie Ameisensäure vergleichend gegenübergestellt und besprochen werden.

#### Gärproduktmuster nach 7 Tagen Lagerungsdauer

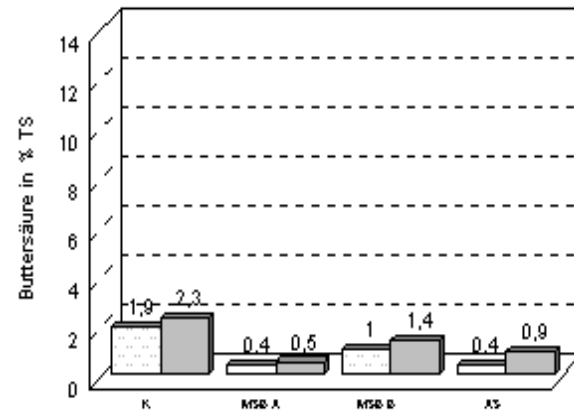
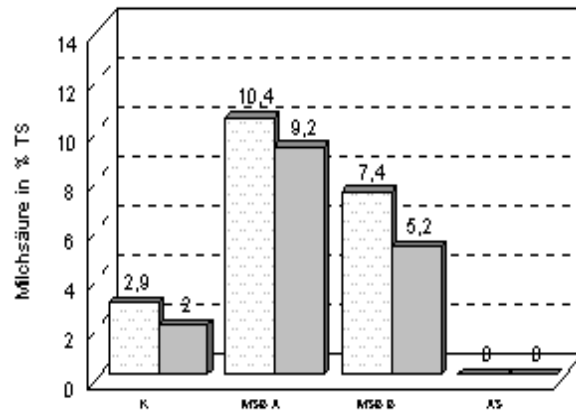
In Abbildung 30 sind MS- und BS-Gehalte dargestellt. Tabelle 17 enthält weitere Gärparameter in den Silagen nach 7 Tagen Lagerung bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz.



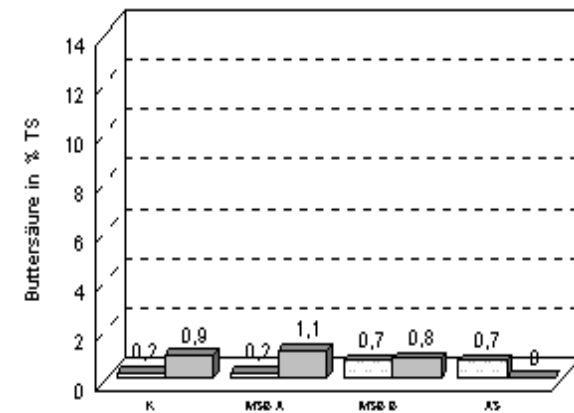
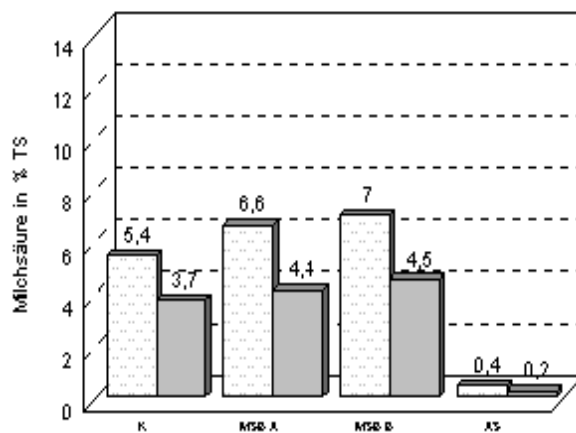
## Milchsäuregärung

## Buttersäuregärung

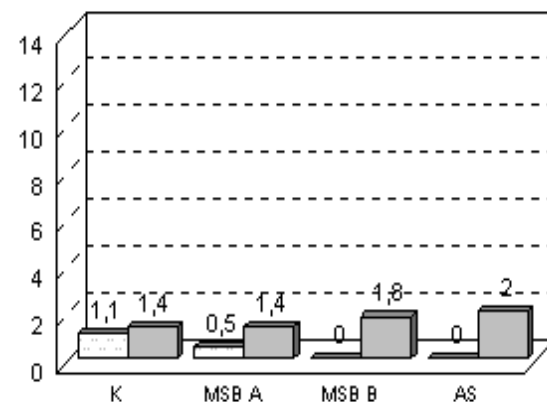
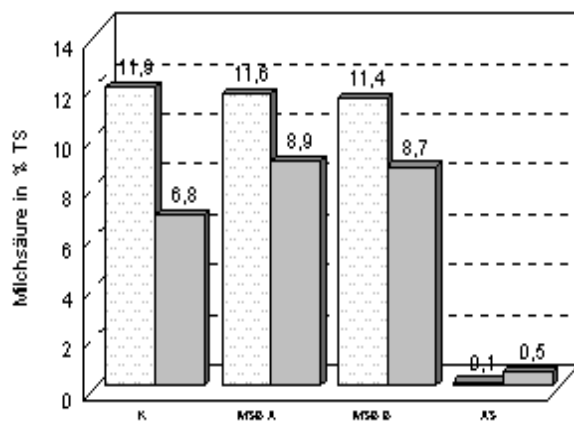
## Knautgras, 1.Aufwuchs VK 61 u.64



## Knautgras, 2.Aufwuchs VK 36 u. 38



## Gras-Leguminosen-Gemenge, 1.Aufwuchs VK 28 u. 29



Clostridiensporenbesatz:

 gering
  erhöht
 

Abbildung 30: Milchsäure- und Buttersäuregehalt in Silagen bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS) nach 7 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz des Grünfutters

Tabelle 17: Ausgewählte Merkmale der Gärqualität der Silagen mit MSB- u. AS- Zusatz nach 7 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz des Grünfutters

7.Tag		KG, 1.Aufw.		KG, 2.Aufw.		GLG,1.Aufw.	
VK		61	64	36	38	28	29
Sporenbesatz		gering	erhöht	gering	erhöht	gering	erhöht
pH	Kontrolle	5,14	5,06	4,25	3,80	4,04	4,69
	MSB A	3,70	3,62	4,11	3,68	4,05	4,37
	MSB B	4,05	3,80	4,21	3,84	4,06	4,42
	AS	3,75	3,82	4,38	4,44	3,94	4,59
ES % d.TS	Kontrolle	0,35	0,51	0,56	1,40	2,78	1,57
	MSB A	0,39	0,90	0,76	1,81	1,65	1,40
	MSB B	0,47	0,54	0,71	1,35	2,10	1,35
	AS	0,51	0,34	1,07	0,37	1,65	0,54
Alk. % d.TS	Kontrolle	1,56	1,22	0,36	0,51	2,48	0,86
	MSB A	0,74	1,53	0,30	0,23	1,88	0,43
	MSB B	0,98	0,98	0,46	0,47	1,73	0,65
	AS	0,27	0,88	0,20	0,47	0,68	0,16
n-BS % an BS <sub>Ges.</sub> - keine BS <sub>Ges.</sub>	Kontrolle	100	100	100	100	100	100
	MSB A	36	53	100	50	0	72
	MSB B	77	100	100	100	-	56
	AS	100	100	100	-	-	57
NH <sub>3</sub> -N % in Ges.-N	Kontrolle	6,38	n.b.	2,34	n.b.	8,90	8,18
	MSB A	n.b.	n.b.	2,10	n.b.	8,61	6,79
	MSB B	4,31	n.b.	2,81	n.b.	9,76	6,98
	AS	n.b.	n.b.	1,64	n.b.	1,72	1,53

In den ersten Gärungstagen führte der Zusatz beider MSB-Präparate in allen Versuchen, auch bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz, zur Stimulierung der MS-Gärung im Vergleich zur Kontrolle. Der pH-Wert konnte schnell abgesenkt werden. Bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz war dieser Effekt weniger stark ausgeprägt.

Durch AS-Zusatz wurde das Gärsubstrat zwar auch angesäuert, aber MS-Gärung wurde in allen Versuchen nahezu völlig unterdrückt.

Trotz mehr oder weniger ausgedehnter MS-Gärung bei Zusatz von Inoculantien konnte BS-Bildung zu Gärbeginn im Vergleich zur Kontrolle höchstens eingeschränkt werden. Nur im Versuch mit gering belastetem GLG und Zusatz von MSB B wurde zu Gärbeginn keine Buttersäure gebildet. Auch in den Silagen mit Ameisensäure trat meist Buttersäure auf.

Mit höherer Sporenbelastung des Ausgangsmaterials war die BS-Konzentration in den Silagen nicht in jedem Falle höher. Einzig beim Versuch mit GLG traten die Unterschiede bezüglich der Höhe der BS-Gehalte in Abhängigkeit der Sporen-belastung deutlich hervor.

Die Fraktion der Gesamt-BS bestand in diesem Gärungsstadium bei allen Versuchen überwiegend aus n-BS (s.Tab.17), mit Ausnahme des Versuches mit GLG bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz. Hier waren die Gesamt-BS-Gehalte bei MSB- und AS-Zusatz im Vergleich zu allen anderen Versuchen schon deutlich höher und wiesen höhere Anteile an iso-Säuren und Homologen der Buttersäure auf. Die Ammoniakgehalte aller Versuche mit Werten unterhalb von 10 % NH<sub>3</sub>-N an Ges.-N sind aber ausnahmslos als niedrig einzustufen. Die ES- und Alkoholgehalte waren ebenfalls insgesamt sehr niedrig.

In den ersten Gärungstagen konnten durch MSB-Zusatz MS-Gärung und pH-Absenkung bei geringem, aber auch bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz stimuliert werden. BS-Bildung fand aber trotzdem statt. Durch Zusatz von Ameisensäure wurde der pH-Wert gesenkt, jedoch MS-Gärung unterdrückt. Buttersäure wurde meist trotz Säuerung gebildet. ES- und  $\text{NH}_3$ -Gehalte waren sehr niedrig.

### Gärproduktmuster nach 28 Tagen Lagerungsdauer

Aus Abbildung 31 ist ersichtlich, daß in den Versuchen mit KG, 1. und 2. Aufwuchs, durch Zusatz von Inoculantien pH-Absenkung und MS-Bildung sowohl bei geringem als auch bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz im Vergleich zur jeweiligen Kontrollvariante stabilisiert werden konnten.

Die Gesamt-BS-Gehalte, überwiegend aus n-BS bestehend, sind im Gärverlauf in den Varianten mit MSB-Zusatz insbesondere bei KG des 1. Aufwuchses trotzdem angestiegen. Der Anstieg der BS-Gehalte erfolgte langsamer als in der Kontrolle. Bei höherem Clostridiensporenbesatz waren MS-Gehalte niedriger und BS-Gehalte höher im Vergleich zu den Versuchen bei geringer Sporenbelastung.

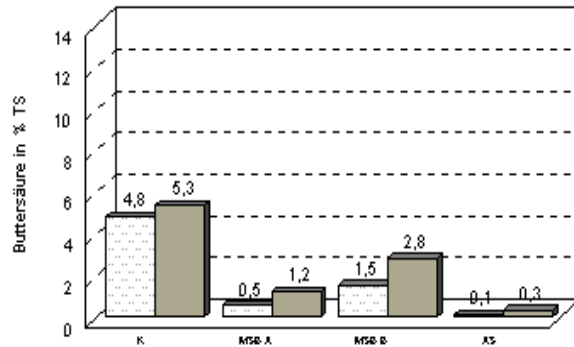
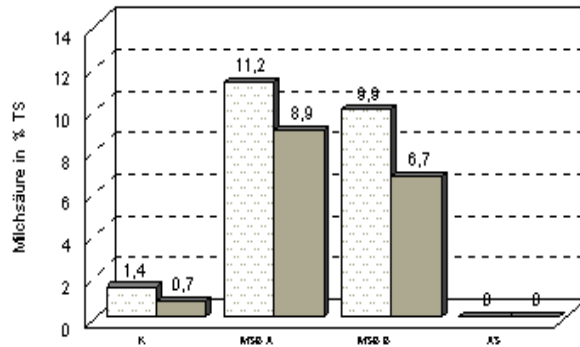
Tabelle 18: Ausgewählte Merkmale der Gärqualität der Silagen mit MSB- u. AS-Zusatz nach 28 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz des Grünfutters

28.Tag		KG, 1.Aufw.		KG, 2.Aufw.		GLG,1.Aufw.	
VK		61	64	36	38	28	29
Sporenbesatz		gering	erhöht	gering	erhöht	gering	erhöht
pH	Kontrolle	5,03	4,97	3,98	4,03	4,01	5,50
	MSB A	3,71	3,67	3,97	3,97	3,94	5,39
	MSB B	3,87	3,64	4,00	4,09	3,96	5,60
	AS	3,91	3,79	4,60	4,37	4,08	4,21
ES % d.TS	Kontrolle	0,78	0,61	0,76	1,53	2,44	2,54
	MSB A	0,39	0,78	0,91	2,00	2,41	1,51
	MSB B	0,27	0,65	1,07	1,21	1,95	1,89
	AS	0,31	0,71	0,81	0,88	2,18	1,08
Alk. % d.TS	Kontrolle	2,15	1,09	0,56	0,65	2,03	0,92
	MSB A	0,74	1,90	0,56	0,47	1,35	0,54
	MSB B	1,09	2,65	0,41	0,47	1,88	0,92
	AS	0,11	1,90	0,41	0,37	1,56	0,32
n-BS % an BS <sub>Ges.</sub> - keine BS <sub>Ges.</sub>	Kontrolle	100	94	100	100	100	70
	MSB A	31	83	78	100	0	70
	MSB B	100	100	100	100	-	63
	AS	100	100	100	77	100	44
NH <sub>3</sub> -N % in Ges.-N	Kontrolle	8,11	n.b.	3,51	n.b.	11,70	23,68
	MSB A	n.b.	n.b.	3,27	n.b.	10,33	20,44
	MSB B	4,83	n.b.	2,57	n.b.	11,77	22,49
	AS	n.b.	n.b.	3,27	n.b.	3,44	2,21

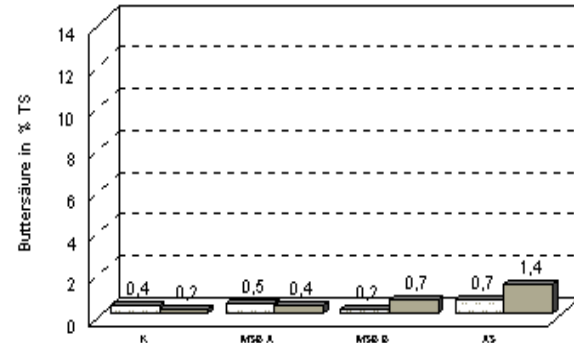
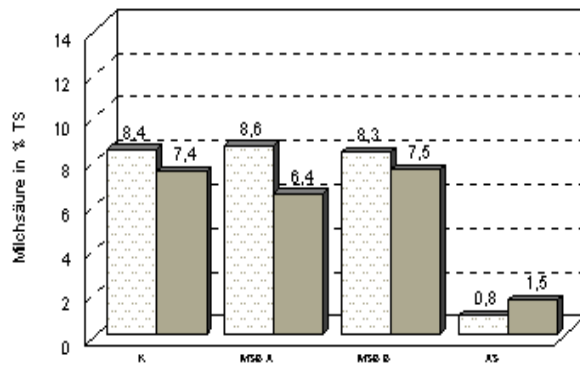
## Milchsäuregärung

## Buttersäuregärung

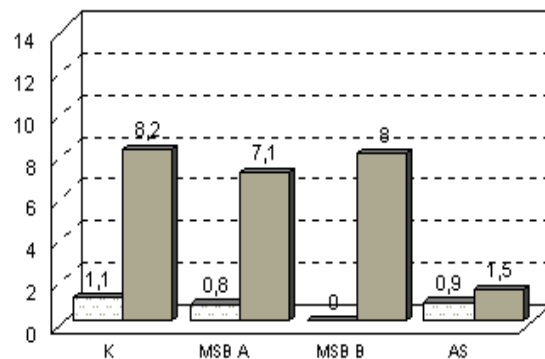
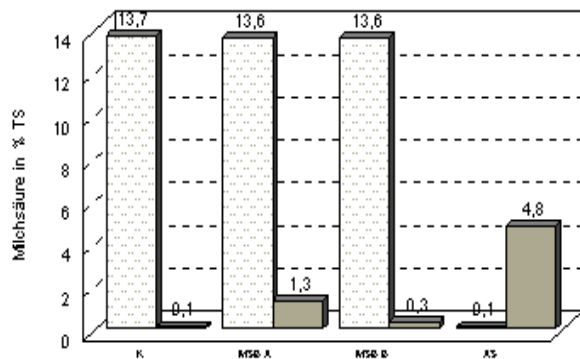
## Knautgras, 1.Aufwuchs VK 61 u. 64



## Knautgras, 2.Aufwuchs VK 36 u. 38



## Gras-Leguminosen-Gemenge, 1.Aufwuchs VK28 u. 29



Clostridiensporenbesatz:

gering erhöht

Abbildung 31: Milchsäure- und Buttersäuregehalt in Silagen bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS) nach 28 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz des Grünfutters

Die Ammoniakgehalte, soweit bestimmt, lagen aber weit unterhalb von 10%  $\text{NH}_3\text{-N}$  in Ges.-N (s.Tab. 18).

Beim Versuch mit GLG bewirkte MSB-Zusatz nur noch bei geringer Sporenbelastung des Ausgangsmaterials eine Stabilisierung von MS-Gärung im gesamten Gärverlauf. In den Silagen mit erhöhter Sporenzahl waren die pH-Werte erhöht und hatte bereits Laktatabbau eingesetzt. Offensichtlich fand zudem Aminosäuren- und Eiweißabbau statt, da Ammoniakgehalte stark erhöht und der n-BS-Anteil deutlich verringert waren. Das Ausmaß der BS-Gärung hatte bereits ein hohes Ausmaß erreicht.

AS-Zusatz dagegen bewirkte bei diesem Versuch und besonders bei höherer Sporenbelastung eine Förderung der MS-Gärung im Vergleich zur Kontrolle, wobei die BS-Gehalte vergleichsweise niedrig, die  $\text{NH}_3$ -Gehalte sogar extrem niedrig waren.

Die ES-Gehalte wiesen in allen Varianten, auch bei erhöhtem Sporenbesatz, sehr niedrige Werte auf. Die Alkoholgehalte, ebenfalls niedrig, lagen mit MSB- und AS-Zusatz meist etwas unterhalb der Werte in der Kontrolle.

*Nach 28 Gärungstagen zeigte sich, daß durch Zusatz von Inoculantien und Ameisensäure ein weiteres Ansteigen der BS-Gärung nicht verhindert werden konnte, insbesondere bei erhöhtem Sporenbesatz des Ausgangsmaterials. Ameisensäure wirkte etwas sicherer, obwohl die MS-Gärung durch diesen Zusatz stark gehemmt wurde. Erhöhte pH-Werte und  $\text{NH}_3$ -Gehalte lagen jedoch nur bei hohen BS-Gehalten vor, wobei die ES-Gehalte stets extrem niedrig waren.*

#### **Gärproduktmuster nach 180 Tagen Lagerungsdauer**

Aus Abbildung 32 zur MS- und BS-Gärung nach Auslagerung ist zunächst erkennbar, daß nur geringe Unterschiede in der Wirksamkeit beider MSB-Präparate bestanden, jedoch mit beiden Präparaten Unterschiede zwischen den Versuchen auftraten.

Beim Versuch mit KG des 1. Aufwuchses wurden zum Zeitpunkt der Auslagerung in den Silagen, unabhängig von der Sporenbelastung, noch hohe MS-Gehalte nachgewiesen. Gleichzeitig lag bereits Buttersäure vor.

Beim Versuch mit KG des 2. Aufwuchses war trotz der zugesetzten Inoculantien bereits Laktatabbau zu verzeichnen, insbesondere im Versuch bei erhöhter Clostridiensporenbelastung. Die BS-Gärung hatte hierbei ein hohes Ausmaß erreicht.

Beim GLG mit MSB- Zusatz war nach 180 Tagen der Laktatabbau nicht nur in den Varianten mit erhöhter Sporenzahl im Ausgangsmaterial fortgeschritten. Auch in den Silagen mit geringer Sporenzahl im Grünfütter war keine Milchsäure mehr nachweisbar. Die BS-Gehalte waren sehr hoch. Die ebenfalls sehr hohen Ammoniakgehalte (s.Tab. 19), weit über 30%  $\text{NH}_3\text{-N}$  an Ges.-N, weisen dabei auf ausgedehnten Eiweiß- und Aminosäurenabbau hin.

Die Ameisensäure wirkte auf den Verlauf der MS-Gärung sehr unterschiedlich. Auffällig ist, daß bei erhöhter Clostridiensporenbelastung des Siliergutes höhere MS-Gehalte in den Silagen im Vergleich zu geringer Sporenbelastung und im Vergleich zur Hauptgärphase vorlagen. Die BS- und vor allem die Ammoniak-Gehalte waren in allen Silagen mit AS geringer als bei Kontroll- und MSB-Varianten.

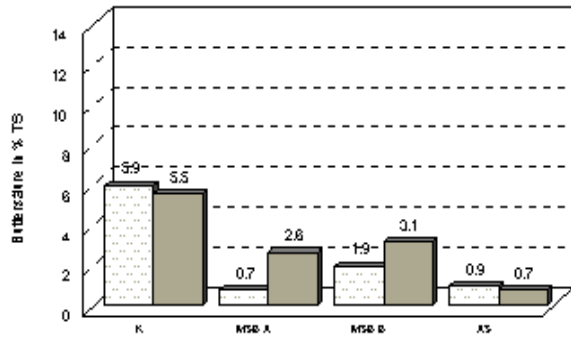
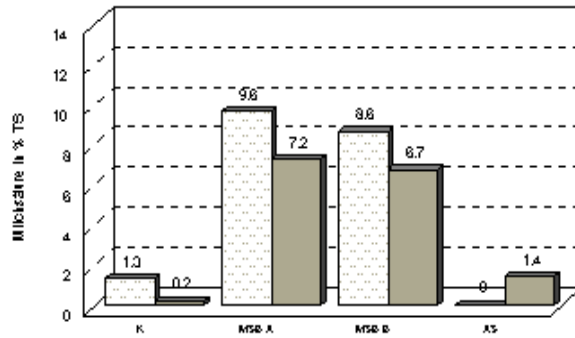
Die ES-Gehalte (s.Tab.19) lagen in allen Versuchen mit MSB- und AS-Zusatz unterhalb von 3 %. Die Alkoholgehalte waren, außer in den Silagen von GLG mit geringer Sporenbelastung, sehr niedrig.

# 180.Tag

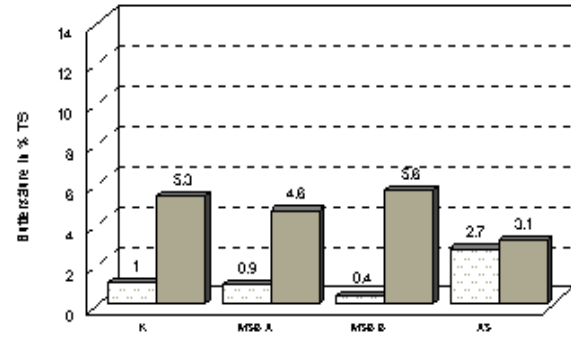
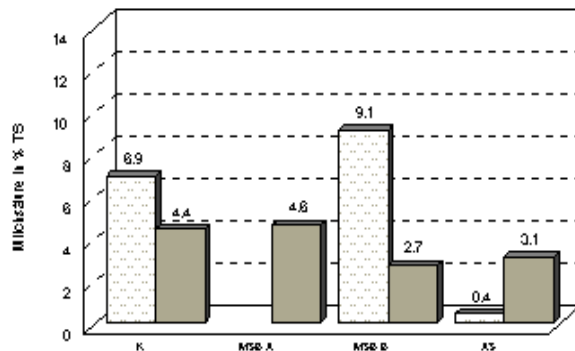
## Milchsäuregärung

## Buttersäuregärung

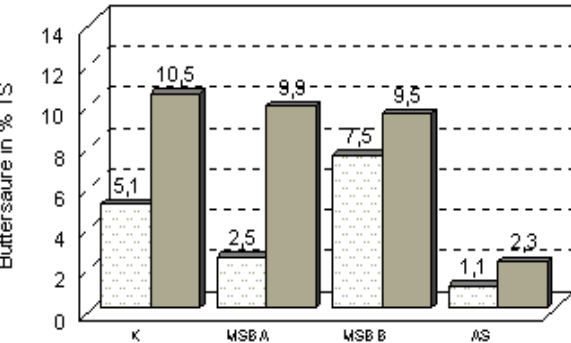
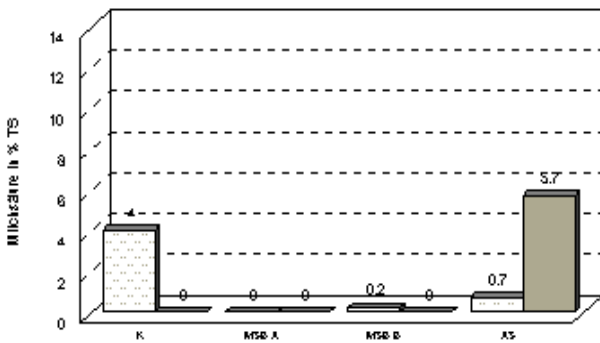
### Knautgras, 1.Aufwuchs VK 61 u. 64



### Knautgras, 2.Aufwuchs VK 36 u. 38



### Gras-Leguminosen-Gemenge, 1.Aufwuchs VK 28 u. 29



Clostridiensporenbesatz:



Abbildung 32: Milchsäure- und Buttersäuregehalt in Silagen bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B sowie Ameisensäure (AS) nach 180 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz

Tabelle 19: Ausgewählte Merkmale der Gärqualität der Silagen mit MSB- u. AS-Zusatz nach 180 Tagen Lagerungsdauer bei unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz

180.Tag		KG, 1.Aufw.		KG, 2.Aufw.		GLG, 1.Aufw.	
VK		61	64	36	38	28	29
Sporenbesatz		gering	erhöht	gering	erhöht	gering	erhöht
pH	Kontrolle	4,71	5,03	4,19	4,28	4,82	5,37
	MSB A	3,85	3,93	4,21	4,21	5,22	5,39
	MSB B	3,87	4,25	4,01	4,47	5,34	5,48
	AS	4,51	4,25	4,73	4,01	4,12	4,22
ES % d.TS	Kontrolle	2,46	1,73	0,76	1,53	1,35	3,40
	MSB A	1,05	0,95	1,07	1,30	2,41	3,03
	MSB B	0,86	0,78	1,47	0,93	2,40	2,86
	AS	1,25	0,68	1,12	3,07	2,03	2,05
Alk. % d.TS	Kontrolle	1,68	1,32	0,41	0,56	3,98	1,03
	MSB A	0,70	0,34	0,41	0,79	2,41	0,92
	MSB B	0,74	1,05	0,81	0,56	3,46	0,54
	AS	0,35	0,37	0,71	0,98	1,87	0,51
n-BS % an BS <sub>Ges.</sub>	Kontrolle	71	71	100	89	84	52
	MSB A	58	66	100	90	82	51
	MSB B	84	80	100	89	72	55
	AS	64	100	91	100	100	69
NH <sub>3</sub> -N % in Ges.-N	Kontrolle	13,63	n.b.	7,72	n.b.	20,38	31,12
	MSB A	n.b.	n.b.	5,38	n.b.	38,47	32,00
	MSB B	5,65	n.b.	4,91	n.b.	45,10	31,52
	AS	n.b.	n.b.	8,65	n.b.	6,74	4,25

Nach 180 Tagen Gärung waren mit MSB- und AS-Zusatz bei geringer Clostridiensporenbelastung meist geringe bis mittlere BS-Gehalte und niedrige pH-Werte, dagegen bei erhöhter Sporenbelastung überwiegend mittlere bis sehr hohe BS-Gehalte und hohe pH-Werte sowie NH<sub>3</sub>-Gehalte vorhanden. Laktatabbau konnte durch MSB-Zusatz nicht verhindert werden. Durch AS-Zusatz wurde BS-Gärung und NH<sub>3</sub>-Bildung deutlich eingeschränkt. Die ES-Gehalte waren in allen Varianten niedrig.

### Zusammenfassung der Ergebnisse

In Tabelle 20 sind die Ergebnisse zur Wirkung von MSB- und AS-Zusatz hinsichtlich der Unterbindung von BS-Gärung nach 180 Tagen Lagerungsdauer der Silagen zusammengefaßt.

Aus den Ergebnissen vorliegender Untersuchungen zum MSB-Zusatz kann zusammenfassend festgestellt werden, daß die zugesetzten Inoculantien die MS-Gärung deutlich fördern. Das Ausmaß der BS-Gärung ist aber dadurch höchstens eingeschränkt, nicht zuverlässig unterbunden worden. Die beiden untersuchten Präparate zeigten in ihrer Wirkung Unterschiede. So waren bei Zusatz von MSB A im Vergleich zu MSB B die MS-Gehalte in den Silagen etwas höher. Die Höhe der BS-Gehalte war vergleichsweise etwas niedriger. Bei zusätzlicher Belastung des Grünfutters mit Clostridiensporen waren die BS-Gehalte in allen Varianten mit MSB-Zusatz höher als bei geringerer Sporenzahl.

Tabelle 20: Wirkung der Zusätze MSB A,B und Ameisensäure auf BS-Gärung nach 180 Tagen in allen Versuchen (Zusammenfassung)

Sporenbesatz		gering			erhöht		
		KG, 1.Aufw.	KG, 2.Aufw.	GLG,1.Aufw.	KG, 1.Aufw.	KG, 2.Aufw.	GLG,1.Aufw.
VK		61	36	28	64	38	29
	MSB A	o	o	o	o	BS	BS
	MSB B	o	o	BS	o	BS	BS
	AS	o	BS	o	o	o	o

o : BS-Bildung gegenüber der Kontrolle eingeschränkt

x : BS-Bildung gegenüber der Kontrolle unterdrückt

BS: BS-Bildung vergleichbar mit der Kontrolle

Ameisensäure als Zusatz erwies sich im Hinblick auf die Unterdrückung der BS-Bildung unsicher in der Wirksamkeit. Insbesondere bei den Versuchen mit erhöhtem Sporenbesatz konnte BS-Gärung durch diesen Zusatz jedoch stärker eingeschränkt werden als durch MSB-Präparate.

Die frühzeitige BS-Gärung konnte durch Säuerung nicht sicher unterbunden werden. Im weiteren Gärverlauf trat trotz pH-Absenkung auch Laktatabbau auf, so daß zum Zeitpunkt der Auslagerung sehr hohe BS- und Ammoniakgehalte infolge Laktatabbau festgestellt wurden.

#### 4.1.4 Gärungsverlauf bei geringem und erhöhtem Clostridiensporenbesatz und verschiedenen Zusätzen im Vergleich

Abschließend werden die Gärverläufe in den Silagen der einzelnen Grünfütterarten bei unterschiedlich hohem Clostridiensporenbesatz und mit verschiedenen Zusätzen verglichen. Dazu wurden in den nachfolgenden Abbildungen MS- und BS-Gärung im Verlauf ausgewertet. Als Beispiel für den Zusatz von MSB-Präparaten wurde MSB A einbezogen. Aufgrund der sicheren Wirkung wurden die 0,1% igen Zusätze an Nitrit- und Nitrat-N für den Vergleich ausgewählt. Ameisensäure ist aufgrund der unsicheren Wirkung für diesen Vergleich nicht berücksichtigt worden.

##### Knaulgras, 1. Aufwuchs (Versuch 1/93 und 3/93)

Der Zusatz von MSB A bzw. 0,1 % Nitrat-/ Nitrit-N bewirkte sowohl bei geringer als auch bei erhöhter Clostridiensporenbelastung eine ausgeprägte Stimulierung der MS-Gärung (s. Abb. 33). Dabei wurde mit MSB-Zusatz bereits in den ersten Gärungstagen ein sehr hohes Niveau erreicht. Bei Zusatz von Nitrat und Nitrit war das Ausmaß der MS-Gärung dagegen bei allen Versuchen deutlich niedriger.

Die frühzeitige BS-Bildung konnte bei geringer Sporenbelastung des Grünfutters mit MSB A stark reduziert, aber nur mit Zusatz von Nitrat und Nitrit sicher unterdrückt werden.

Bei erhöhtem Sporenbesatz des Siliergutes bewirkte das MSB-Präparat nur eine verringerte BS-Bildung im Vergleich zur Kontrolle. Auch durch Zusatz von 0,1% Nitrat-/ Nitrit-N wurde BS-Gärung nur noch eingeschränkt. So wurden bei allen Zusatzvarianten BS-Gehalte bis 2,6 % d.TS neben mehr oder weniger hohen MS-Gehalten nachgewiesen.



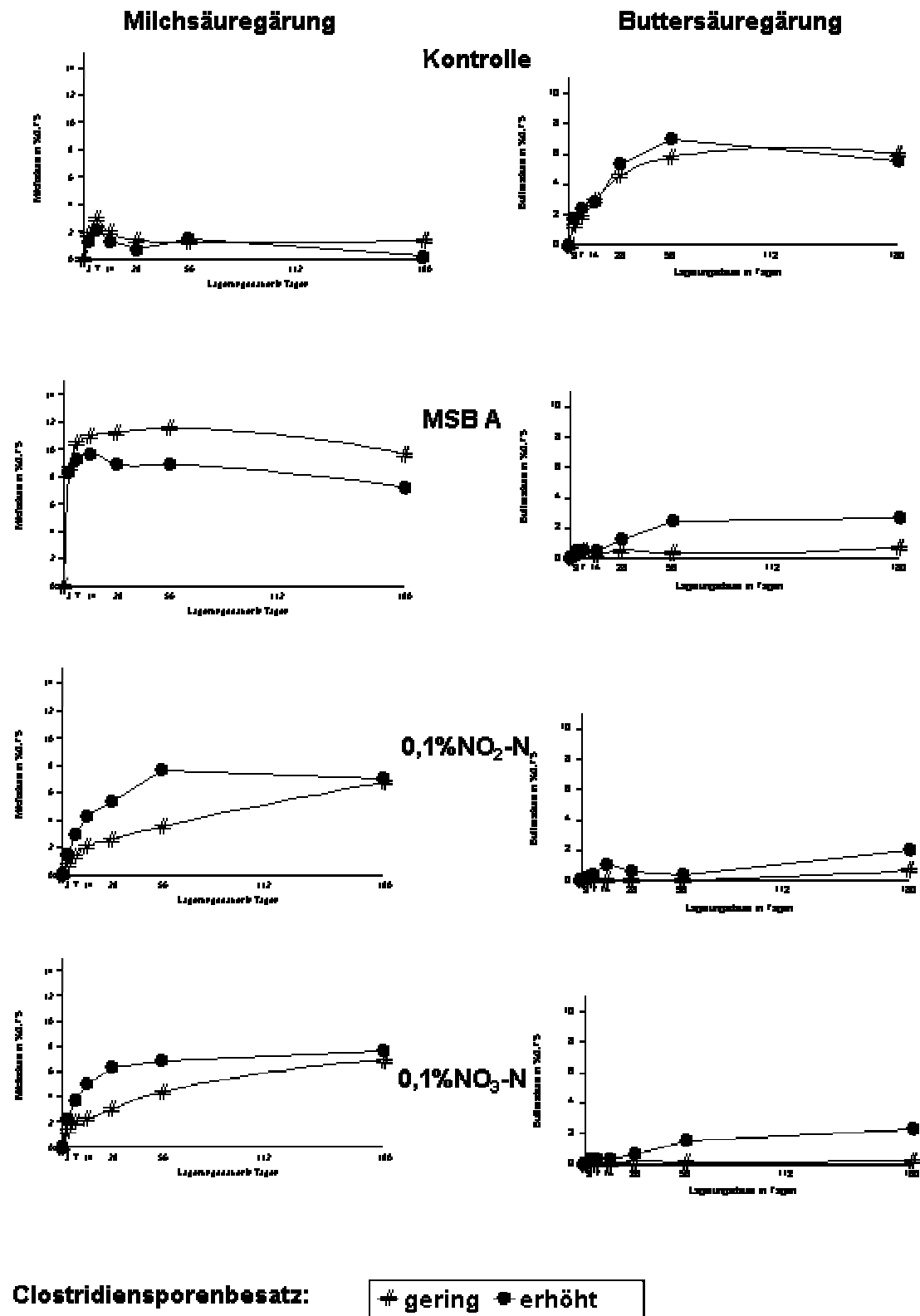


Abbildung 33: Milchsäure- und Buttersäuregärung in Silagen von Knaulgras, 1. Aufwuchs, bei verschiedenen Zusätzen in Abhängigkeit von der Clostridiensporenbelastung

**Knaulgras, 2.Aufwuchs (Versuch 16/93 und 18/93)**

In diesem Versuch war die Intensität der MS-Gärung bis zum 14.Tag bei den geprüften Zusätzen und unterschiedlich hoher Sporenbelastung vergleichbar (s. Abb. 34). Sie erreichte jedoch im weiteren Verlauf der Gärung mit Zusatz von Nitrat und Nitrit ein größeres Ausmaß als bei MSB-Zusatz.

Das Ausmaß der BS-Gärung wurde durch MSB-Zusatz kaum verringert, unabhängig von der Sporenbelastung. Der Laktatabbau bei erhöhter Sporenbelastung wurde durch MSB-Zusatz im Vergleich zur Kontrolle lediglich verzögert.

Durch Zusatz von 0,1% Nitrat-/Nitrit-N dagegen wurde BS-Gärung, auch bei hoher Sporenzahl, im Vergleich zur Kontrolle sehr stark eingeschränkt.

**Gras-Leguminosen-Gemenge, 1.Aufwuchs (Versuch 1/94 und 2/94)**

In diesen Versuchen wurde die unzureichende Wirksamkeit des MSB-Präparates besonders deutlich, wie aus Abbildung 35 hervorgeht. Selbst bei geringer Sporenbelastung wurde durch MSB-Zusatz der Laktatabbau im Vergleich zur Kontrollvariante höchstens um 3-4 Wochen verzögert, konnte aber nicht verhindert werden.

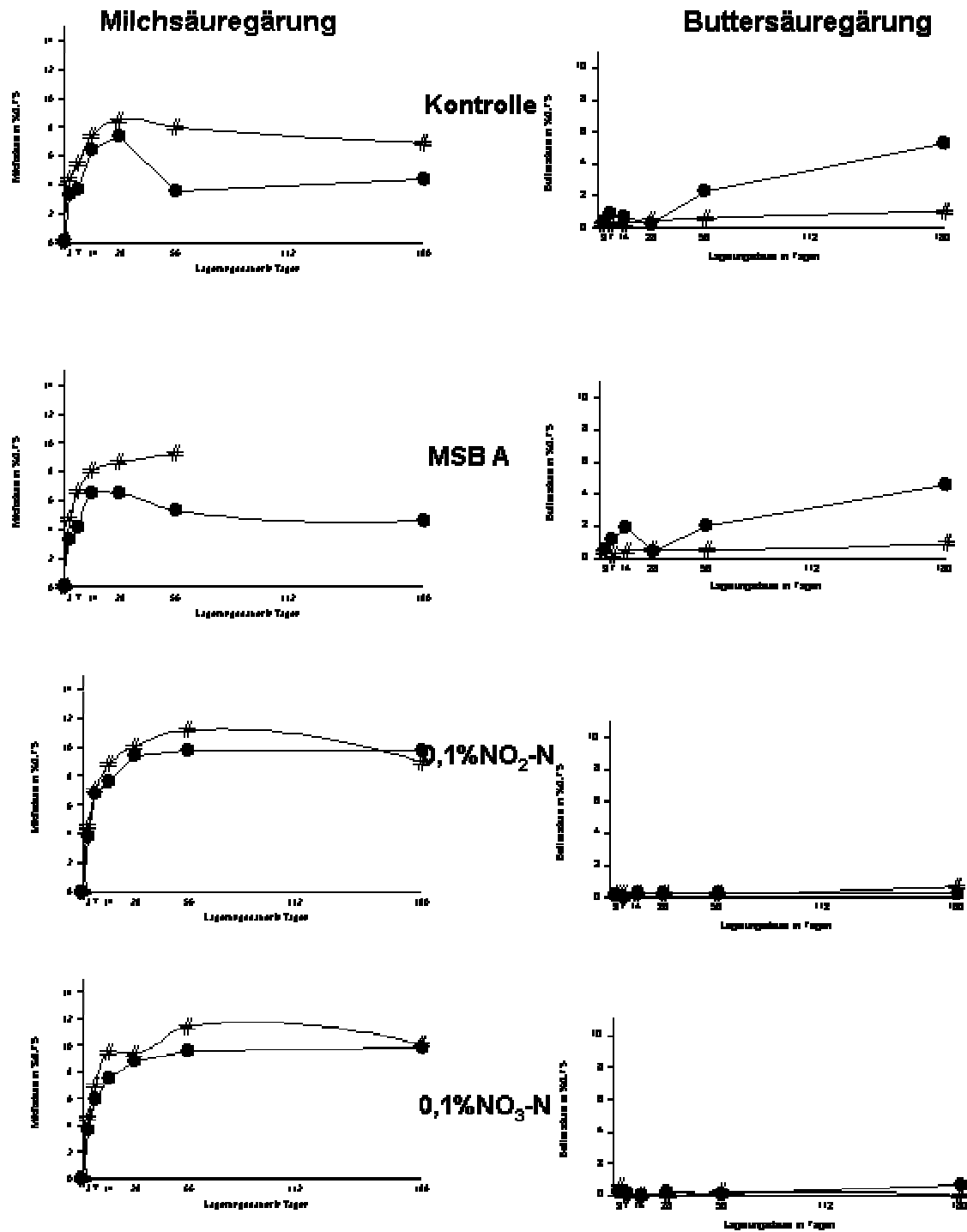
Die BS-Gehalte in Silagen mit geringer Sporenbelastung, von Gärbeginn an nachgewiesen, stiegen ähnlich wie in der Kontrollvariante nach dem 56.Tag drastisch an.

Bei erhöhter Sporenbelastung war kein positiver Effekt des MSB-Zusatzes hinsichtlich Verlauf von MS- und BS-Gärung feststellbar.

Im Gegensatz dazu bewirkten beide Nitrat-/Nitrit- Zusätze eine Stabilisierung des Gärverlaufes in gering sporenbelastetem Ausgangsmaterial. Die MS-Gärung erreichte ein sehr hohes Ausmaß und BS-Gärung konnte bis Lagerungsende wirksam unterdrückt werden.

Bei erhöhter Sporenbelastung im Siliergut konnte der Laktatabbau im Vergleich zur Kontrolle auch hier nur hinausgezögert werden. Nach dem 28.Tag stiegen die BS-Gehalte sehr stark an und erreichten ein höheres Ausmaß als in der Kontrolle.

*Beim Vergleich der Wirksamkeit der einzelnen Zusätze bei unterschiedlicher Clostridiensporenbelastung zeigte sich, daß durch MSB-Zusatz, trotz schneller Ansäuerung zu Gärbeginn und Förderung der MS-Gärung, Clostridien kaum gehemmt wurden. Clostridienaktivität konnte nur durch Zusatz von Nitrat/ Nitrit unterbunden werden. Bei erhöhter Sporenbelastung des Siliergutes war mit Zusatz von 0,1% Nitrat-/Nitrit-N keine sichere Hemmwirkung erreicht worden.*



Clostridiensporenbesatz:

# gering ● erhöht

Abbildung 34: Milchsäure- und Buttersäuregärung in Silagen von Knaulgras, 2. Aufwuchs, bei verschiedenen Zusätzen in Abhängigkeit von der Clostridiensporenbelastung

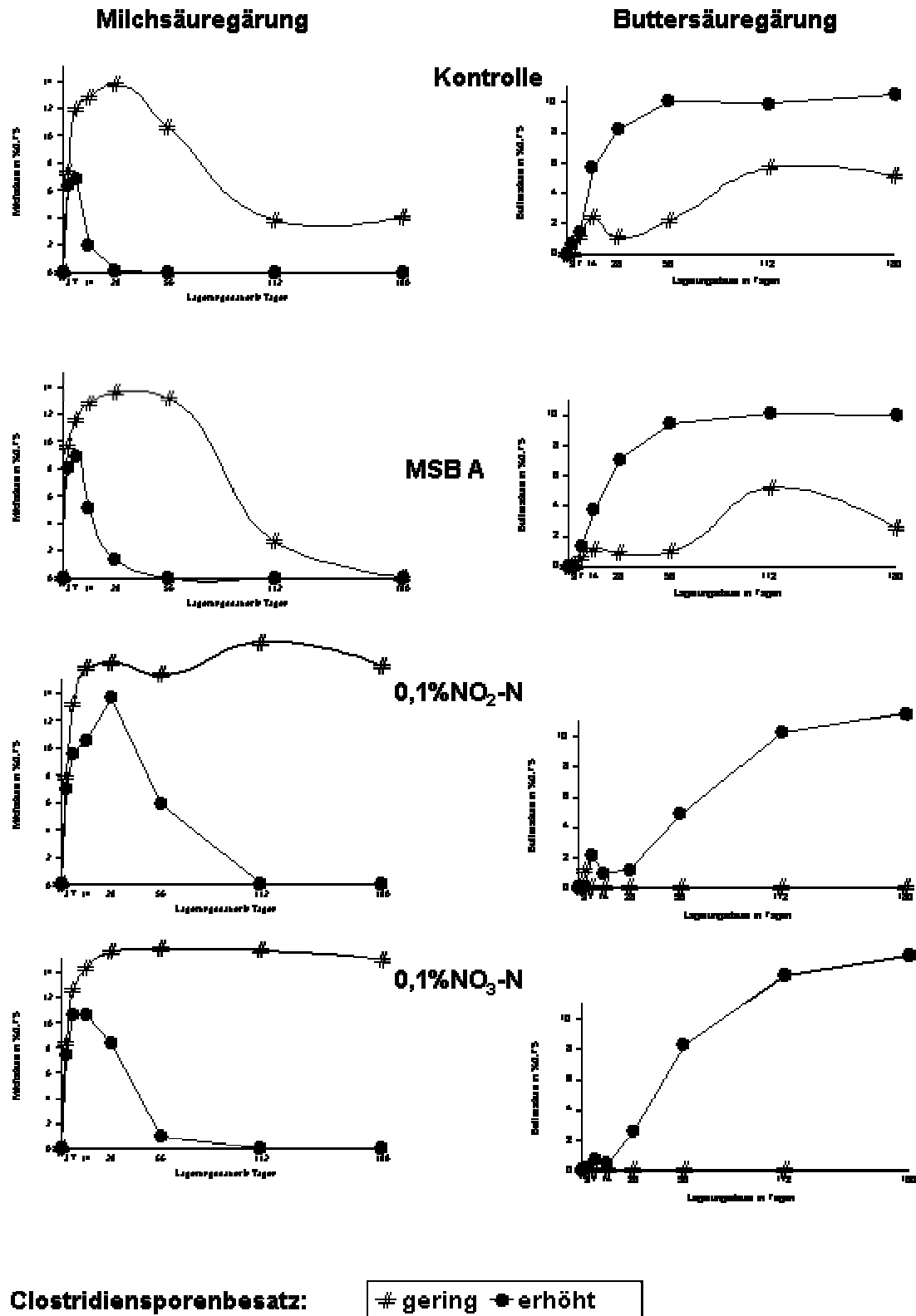


Abbildung 35: Milchsäure- und Buttersäuregärung in Silagen von Gras-Leguminosen- Gemenge, 1. Aufwuchs, bei verschiedenen Zusätzen in Abhängigkeit von der Clostridiensporenbelastung

## 4.2 Untersuchungen zur Gärqualität von Silagen aus nitratarmem Grünfutter

Aus den Untersuchungen zum Gärungsverlauf (siehe 4.1) ist abgeleitet worden, daß Silagen aus nitratarmem Grünfutter anderen Stoffumsetzungen unterliegen als bei Anwesenheit von Nitrat im Ausgangsmaterial zur Silierung. Gegenstand der Arbeiten, deren Ergebnisse im folgenden dargestellt werden, waren umfangreiche Untersuchungen zum Gärproduktmuster in Silagen aus nitratarmem Grünfutter nach 180 Tagen Lagerungsdauer. In mehrjährigen Versuchen sollte überprüft werden, ob sich die Ergebnisse zum Gärungsverlauf auch bei der Silierung von Grünfutter, das unter praxisnahen Bedingungen geerntet worden war, hinsichtlich der Gärqualität bestätigen.

Dazu wurden in den Jahren 1993-1996 insgesamt 70 Laborsilierungsversuche mit den Pflanzenarten *Dactylis glomerata* (Knautgras) und *Festuca species* (Schwingelarten) vom Standort Berge und im Versuchsjahr 1998 weitere 20 Laborsilierungsversuche mit Grünfutter aus Grasmischbeständen vom Standort Blumberg durchgeführt.

Die unterschiedlichen Grasmischungen aus Blumberg werden in den folgenden Auswertungen durch die angegebenen Flächennummern charakterisiert. Die Hauptbestandbildner der jeweiligen Fläche sind in Tabelle 7, Kap. 3.1.2.2, Material und Methode, angegeben.

Sowohl die Reinbestände aus dem Berger Versuchsprogramm als auch die Grasmischbestände aus dem Blumberger Versuchsprogramm waren unterschiedlichen Nutzungsvarianten unterworfen.

In einem weiteren Untersuchungsschwerpunkt wurde der Frage nachgegangen, welche Siliermittel zur Sicherung des Konservierungserfolges bei nitratarmem Grünfutter eingesetzt werden können. Dazu wurde in den 70 Laborsilierungsversuchen von 1993 – 1996 der Zusatz von zwei verschiedenen Präparaten an Inoculantien und Ameisensäure, die bereits bei den Untersuchungen zum Gärungsverlauf (siehe Gliederungspunkt 4.1.) eingesetzt wurden, sowie ein nitrithaltiges Siliermittel im Vergleich zur Kontrollvariante bei beiden Pflanzenarten geprüft. Somit standen für die Auswertung aus dem vierjährigen Versuchsprogramm 70 Versuche mit jeweils 5 Varianten zur Verfügung.

Im Versuchsjahr 1995 ist in weiteren 18 Versuchen aus dem Blumberger Versuchsprogramm mit jeweils 5 Varianten zusätzlich die Wirkung dieser Zusätze auf die Gärqualität der Silagen bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz des Grünfutters geprüft worden.

Der Konservierungserfolg der Silagen aus allen Versuchen und Varianten ist nach den Bewertungsschlüsseln DLG alt (WEIßBACH und HONIG, 1992) und DLG neu (WEIßBACH und HONIG, 1999) beurteilt worden.

### 4.2.1 Nitratgehalt des Grünfutters

Nach den Angaben in Tabelle 21 zum Nitratgehalt von *D.glom.* und *F.spec.* und in Tabelle 22 zu den Grasmischbeständen ist festzustellen, daß die Nitratgehalte zwischen 0 und maximal 0,5 g NO<sub>3</sub> /kg TS lagen. Damit waren sie, unabhängig von Pflanzenart, Schnitzeitpunkt, Standort und Nutzungsregime, in allen Versuchsjahren ohne Ausnahme extrem niedrig. Das Grünfutter aus allen Varianten ist damit als weitgehend nitratfrei (Nitratgehalte < 1 g /kg TS) einzustufen.

Tabelle 21: Nitratgehalt im Grünfutter (*D.glom.* und *F.spec.*), 1993 - 1996 (Spannweite)

Nutzung	Aufwuchs	Schnitt	Nitratgehalt ( g NO <sub>3</sub> / kg TS)	
			<i>D.glom.</i>	<i>F.spec.</i>
3-Schnitt	1.	Ende Mai	0 ... 0,10	0,05 ... 0,45
	2.	Mitte Juli	0 ... 0,12	0 ... 0,15
	3.	Anf. Oktober	0 ... 0,28	0 ... 0,22
2- Schnitt	1.	Anf. Juni	0 ... 0,28	0 ... 0,20
	2.	Mitte August	0 ... 0,23	0 ... 0,12
	1.	Ende Juni	0 ... 0,08	0 ... 0,09
	2.	Mitte August	0 ... 0,35	0 ... 0,15
	1.	Mitte Juli	0 ... 0,14	0 ... 0,09
	2.	Anf. Oktober	0 ... 0,24	0 ... 0,21

Tabelle 22: Nitratgehalt im Grünfutter (Grasmischungen), 1998

Nutzung Variante	Aufwuchs	Schnitt	Nitratgehalt ( g NO <sub>3</sub> / kg TS)			
			Fläche 6	Fläche 5	Fläche 2	Fläche 4
3-Schnitt A	1.	Mitte Mai	0,49	0,34		
	2.	Mitte Juli	0,19	0,07		
	3.	Anf. Oktober	0,15	0,15		
3- Schnitt B	1.	Mitte Mai	0,08	0,15		
	2.	Ende Juli	0,15	0		
	3.	Anf. Oktober	0,33	0,15		
2- Schnitt C	1.	Anf. Juli	0,11	0,18	0,04	0,18
	2.	Ende September	0,07	0,07	0,07	0,15

#### 4.2.2 Gärqualität von Silagen aus *D.glom.* und *F.spec.* (1993 - 1996)

Nachfolgend wird die Gärqualität der Silagen aus *D.glom.* und *F.spec.* zunächst in den einzelnen Versuchsjahren beschrieben. Es war zu prüfen, ob das nitratarmer Grünfutter von annähernd gleichen Schnittterminen in den vier Jahren zu unterschiedlicher Gärqualität geführt hat.

In der weiteren Auswertung wurde die Gärqualität der Silagen nach VK-Klassen des Grünfutters, unabhängig vom Versuchsjahr, zusammengestellt.

##### 4.2.2.1 Gärqualität der Silagen in den einzelnen Versuchsjahren (1993 - 1996)

In Abbildung 36 sind die MS-Gehalte, in Abbildung 37 die BS-Gehalte der Silagen von *D.glom.* und *F.spec.*, aus unterschiedlichen Schnitt-Nutzungsvarianten gewonnen, nach den jeweiligen Versuchsjahren 1993-1996 dargestellt.

In Tabelle 23 sind die übrigen Gärparameter Essigsäure, Alkohol, Anteil n-Buttersäure an der Gesamt-Buttersäure und Ammoniakstickstoff für die einzelnen Versuchsjahre mit Mittelwerten und Spannweiten, gebildet jeweils aus allen Aufwüchsen eines Versuchsjahres, zusammengestellt. Diese Merkmale des Stoffabbaus variierten bis auf wenige Ausnahmen, insbesondere beim Ammoniakgehalt, kaum zwischen den Aufwüchsen, so daß für diese Auswertung die Mittelwerte für jeweils ein Jahr gebildet und die Spannweiten angegeben wurden.

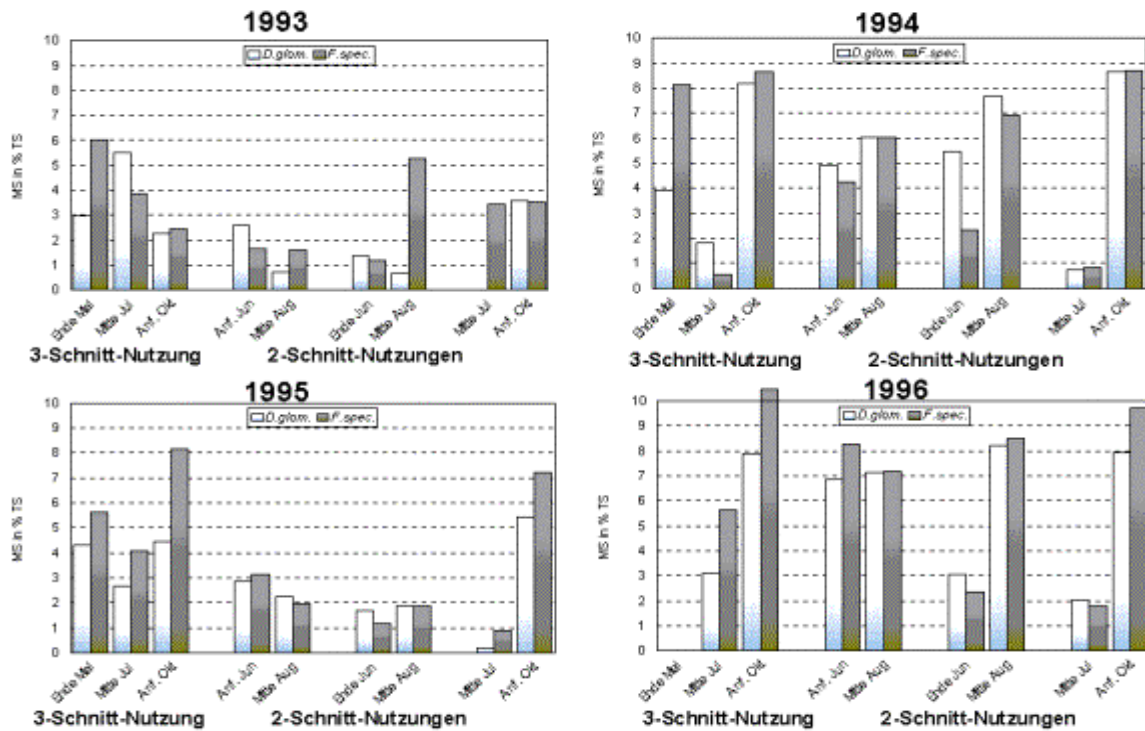


Abbildung 36: Milchsäuregehalt in Silagen von nitratarmem Grünfutter (*Dactylis glomerata* und *Festuca species*) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität nach 180 Tagen Lagerungsdauer; 1993-1996

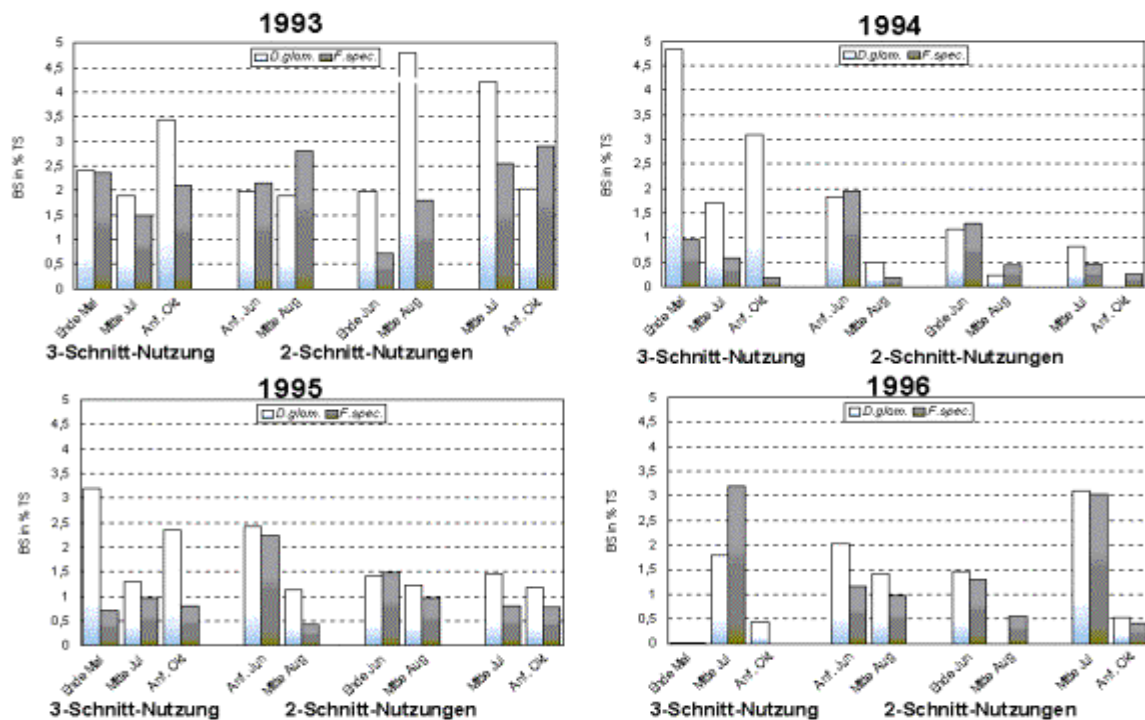


Abbildung 37: Buttersäuregehalt in Silagen von nitratarmem Grünfutter (*Dactylis glomerata* und *Festuca species*) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität nach 180 Tagen Lagerungsdauer; 1993-1996

Wie aus Abbildung 36 für 1993 hervorgeht, wiesen die MS-Gehalte bei beiden Pflanzenarten mit Werten zwischen 1,2 und 6,0 % ein mittleres Niveau auf. Bei drei Silagen war dagegen MS-Gärung nicht bzw. nur in geringem Ausmaß mit 0,7% Milchsäure nachgewiesen worden. In diesen Silagen, die ausschließlich von *D.glom.* stammten, hatte eine umfangreiche BS-Gärung mit Gehalten bis 6,4 % Buttersäure stattgefunden.

Die hohen Ammoniakgehalte am Ende der Lagerung (nicht dargestellt) weisen darauf hin, daß höchstwahrscheinlich Eiweiß- und Aminosäurenabbau stattgefunden hatte.

Die anderen Silagen von 1993 wiesen trotz der festgestellten mittleren MS-Gehalte nicht unerhebliche Gehalte an Buttersäure auf. Aus Abbildung 37 mit der Darstellung für 1993 geht hervor, daß in diesem Versuchsjahr unabhängig von der Pflanzenart, vom Aufwuchs und der Vergärbarkeit insgesamt relativ hohe BS-Gehalte auftraten. Es gab keine BS-freien Silagen, auch nicht bei den ersten Aufwüchsen, die nach VK als leicht vergärbar eingeschätzt wurden. Nur eine Silage wies überhaupt einen BS-Gehalt unter 1% auf.

Bei den meisten Silagen des Versuchsjahres 1993, bis auf die oben diskutierten Ausnahmen, entsprachen die Ammoniakgehalte mit einem N-Anteil von unter oder wenig über 10 % am Ges.-N denen bisher üblicher buttersäurefreier Silagen. Der Anteil n-BS lag zwischen 65 und 100%. Nur bei den wenigen Silagen mit hohen Ammoniakgehalten wurden Anteile unterhalb von 65 % n-BS an der gesamten BS-Fraktion festgestellt. Die ES-Gehalte mit durchschnittlichen Werten von 1,2 % bei *D.glom.* und 0,7 % bei *F.spec.* sind ungeachtet der hohen BS-Gehalte ohne Ausnahme sehr niedrig. Ebenfalls niedrig sind die Alkoholgehalte mit mittleren Werten von 0,7 bzw. 0,9 %, die denen üblicher Silagen entsprechen (siehe Tabelle 23).

Die Ergebnisse des Versuchsjahres 1993 waren insbesondere hinsichtlich der Höhe der MS- und BS-Gehalte sehr unterschiedlich im Vergleich zu den Ergebnissen aus nachfolgenden Jahren, die im folgenden zusammen ausgewertet werden.

Bei den Versuchen von 1994, 1995 und 1996 wurde in allen Silagen MS-Gärung in unterschiedlichem Ausmaß nachgewiesen. Das Niveau der MS-Gehalte war insbesondere in den Silagen von 1994 und 1996 höher als im Jahr 1993 (s. Abb. 36). Hervorzuheben ist weiterhin, daß Silagen aus zweiten und dritten Aufwüchsen, die nach VK als schwer bzw. mittelschwer vergärbar eingeschätzt wurden, überwiegend höhere Gehalte an Milchsäure im Vergleich zu den ersten Aufwüchsen aufwiesen.

Die BS-Gehalte in den Silagen aus den Jahren 1994-1996 waren dagegen in der Tendenz niedriger als im ersten Versuchsjahr 1993, wie aus Abbildung 37 hervorgeht. Es traten deutlich mehr Silagen mit BS-Gehalten < 0,5 % in TS bzw. auch einige wenige BS-freie Silagen auf. Auffallend ist, daß diese geringen BS-Gehalte in Silagen der zweiten und dritten Aufwüchse, die allgemein als schwerer vergärbar eingeschätzt wurden, zu verzeichnen waren. In allen drei Versuchsjahren hatten die Folgeaufwüchse bei beiden Pflanzenarten durchgängig die niedrigeren BS-Gehalte im Vergleich zu den ersten Aufwüchsen. In der Tendenz wiesen die Silagen von *D.glom.* die höheren BS-Gehalte im Vergleich zu *F.spec.* auf.

Aus Tabelle 23 geht hervor, daß die Gehalte an Essigsäure und Alkohol in den Silagen aus diesen drei Versuchsjahren, wie auch bereits für 1993 festgestellt wurde, unabhängig von der Pflanzenart und der Nutzungsvariante sehr gering waren.

Auch der Gehalt Ammoniak-N an Gesamt-N war im Mittel und bei einzelnen Silagen meist niedrig. Selbst bei BS-Gehalten um 3 % betrug der  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Anteil weniger als 10%. Als Ausnahmen in den drei Versuchsjahren sind die Höchstgehalte für  $\text{NH}_3\text{-N}$  von 1994 und 1995 bei Silagen aus *D.glom.* mit 14,8 % bei einem BS-Gehalt von 4,8% d.TS bzw. 15,2 % bei 1,5 % BS einzustufen.

Der durchschnittliche Anteil n-BS an der Gesamt-BS in den Silagen lag bei beiden Pflanzenarten von 1994-1996 über 80 % und ist damit als hoch einzuschätzen. Die aus der Angabe der Spannweite erkennbaren niedrigen Werte zwischen 40 und 54% traten bei 3 Silagen aus den insgesamt drei Versuchsjahren auf, die alle BS-Gehalte über 3% aufwiesen.



Tabelle 23: Essigsäure-, Alkoholgehalt, n-BS-Anteil und Ammoniak-N in Silagen von nitratarmem Grünfutter (*D.glom.* und *F.spec.*) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität eines Jahres; Mittelwert und Spannweite

	ES % TS <sup>1)</sup>		Alk.% TS <sup>2)</sup>		% NH <sub>3</sub> -N in Ges.-N		n-BS% an BS <sub>Ges.</sub>	
	D.glom.	F.spec.	D.glom.	F.spec.	D.glom.	F.spec.	D.glom.	F.spec.
<b>1993</b>	<b>1,15</b>	<b>0,74</b>	<b>0,71</b>	<b>0,89</b>	<b>14,46</b>	<b>8,67</b>	<b>83</b>	<b>88</b>
	0,53...1,95	0,33...1,09	0,14...1,41	0,25...1,67	6,42...30,56	4,75...11,77	43...100	65...100
<b>1994</b>	<b>1,09</b>	<b>1,24</b>	<b>0,78</b>	<b>0,85</b>	<b>7,37</b>	<b>8,13</b>	<b>82</b>	<b>85</b>
	0,39...2,26	0,00...1,86	0,32...1,48	0,49...1,72	2,53...14,81	4,56...11,51	40...100	60...100
<b>1995</b>	<b>0,70</b>	<b>0,78</b>	<b>0,61</b>	<b>0,64</b>	<b>7,80</b>	<b>7,26</b>	<b>94</b>	<b>91</b>
	0,00...1,60	00,00...1,82	0,09...1,14	0,27...0,97	4,19...15,20	5,55...11,27	76...100	73...100
<b>1996</b>	<b>1,02</b>	<b>1,12</b>	<b>0,69</b>	<b>0,74</b>	<b>6,12</b>	<b>7,44</b>	<b>91</b>	<b>86</b>
	0,24...2,45	0,27...1,85	0,28...1,34	0,40...0,98	3,53...8,28	4,55...12,23	54...100	50...100

<sup>1)</sup>ES= ES+PS

<sup>2)</sup> Alk.= Ethanol+Propanol

*In allen Versuchsjahren trat bei den meisten Silagen Buttersäure auf. Trotz der z.T. sehr hohen Gehalte an Buttersäure wiesen die Silagen nicht unerhebliche Mengen an Milchsäure auf. Zwischen den Versuchsjahren und zwischen den Pflanzenarten bestanden Unterschiede bezüglich der Höhe der MS- und BS- Gehalte. Die Essigsäure-, Alkohol- und Ammoniakgehalte waren unabhängig von der Pflanzenart und dem Versuchsjahr sehr niedrig. Unterschiede zwischen den Pflanzenarten waren hierbei nicht nachzuweisen.*

#### 4.2.2.2 Gärqualität von Silagen nach Vergärbarkeit des Grünfutters (1993-1996)

In Tabelle 24 sind die Gehalte an Milchsäure und Buttersäure in den Silagen für jeweils beide Futterpflanzen aus allen vier Versuchsjahren nach Klassen der Vergärbarkeit und nach Aufwüchsen zusammengefaßt. Zur Beurteilung der Intensität der Stoffumsetzungen insgesamt wurde die Gesamtsäure (GS) als Summe aus Milchsäure, Buttersäure, Essigsäure und Propionsäure in die Tabelle mit aufgenommen. Zur besseren Übersichtlichkeit der Tabelle sind die Gehaltsangaben im Mittel und Spannweite nur jeweils mit einer Dezimalstelle aufgeführt. Obwohl durch Aufteilung der 70 untersuchten Silagen in VK-Klassen nach Aufwuchs und Pflanzenart die Anzahl n in der jeweiligen Klasse gering ist, sind Tendenzen hinsichtlich der Unterschiede zwischen Pflanzenart und Aufwuchs erkennbar.

Aus Tabelle 24 ist zunächst ersichtlich, daß bei gleichen VK-Klassen Unterschiede zwischen den Futterpflanzen bei allen Aufwüchsen in den mittleren Gehalten an Milchsäure und Buttersäure bestehen, d.h. unterschiedliche Gärqualität auftrat. Die Silagen der *F.spec.* wiesen gegenüber *D.glom.* bei gleicher VK-Klasse höhere MS-

Gehalte und deutlich niedrigere BS-Gehalte sowohl bei ersten, als auch bei zweiten und dritten Aufwüchsen auf.

Tabelle 24: Gärqualität der Silagen von *D.glom.* und *F.spec.* nach Vergärbarkeit (VK) und Aufwuchs; Milchsäure(MS)-, Buttersäure(BS)-, Gesamtsäure (GS)-Gehalt in % der TS; Mittelwert und Spannweite

	VK < 35 schwer vergärbar			VK 35...45 mittelschwer vergärbar			VK > 45 leicht vergärbar		
	MS	BS	GS	MS	BS	GS	MS	BS	GS
<b><i>D.glom.</i></b>	<b>1.Aufwüchse</b>								
<i>n</i>	5			4			11		
Mittel				3,4	3,4	7,7	2,7	1,9	5,1
Spannweite				0-6,8	2-4,8	5,4-9,7	0,2-5,5	0,8-3,2	1,9-9,1
<b><i>F.spec.</i></b>									
<i>n</i>				2			13		
Mittel				5,7	1,7	8,2	3,0	1,5	5,3
Spannweite				3,1-8,3	1,2-2,2	5,8-10,5	0,8-8,1	0,5-3,0	1,7-10,2
<b><i>D.glom.</i></b>	<b>2.Aufwüchse</b>								
<i>n</i>	5			7			4		
Mittel	6,3	1,7	9,6	4,7	1,3	6,9	2,3	1,5	4,1
Spannweite	0,7-8,2	0-6,4	8,3-10,9	0,7-8,7	0-2,0	4,0-10,0	1,8-3,1	1,1-1,8	3,5-5,3
<b><i>F.spec.</i></b>	3								
<i>n</i>				8			5		
Mittel	7,6	0,7	9,7	6,1	1,5	8,9	2,5	0,9	3,9
Spannweite	7,0-8,5	0,4-1	9,1-10,4	1,6-9,7	0,2-3,2	5,3-11,9	0,6-4,1	0,4-1,5	1,2-6,3
<b><i>D.glom.</i></b>	<b>3.Aufwüchse</b>								
<i>n</i>	2			2					
Mittel	6,2	1,4	9,2	5,2	3,3	10,1			
Spannweite	4,5-7,9	0,4-2,4	8,0-10,3	2,3-8,2	3,1-3,4	6,6-13,5			
<b><i>F.spec.</i></b>	2								
<i>n</i>				1			1		
Mittel	9,3	0,4	11,6	8,7	0,2	10,2	2,5	2,1	5,4
Spannweite	8,2-10,5	0-0,8	11-12,3						

Aus den Angaben geht weiterhin hervor, daß der GS-Gehalt bei beiden Futterpflanzen um so höher war, je geringer die VK-Klasse, d.h. auch je niedriger der TS-Gehalt des Ausgangsmaterials war. Demnach war die Intensität der Stoffumsetzungen umso höher, je niedriger die Vergärbarkeit des Siliergutes insgesamt beurteilt wurde.

Die MS-Gehalte in den Silagen waren bei beiden Pflanzenarten, bei allen Aufwüchsen und in allen VK-Klassen im Vergleich zu den BS-Gehalten deutlich höher. Unerwartet war der Rückgang der MS-Gehalte mit zunehmender Verbesserung der Vergärbarkeit des Siliergutes in allen Aufwüchsen.

Die durchschnittlichen Gehalte an Buttersäure in den Silagen gingen mit zunehmender Verbesserung der Vergärbarkeit, zumindest bei den ersten Aufwüchsen, zurück. Auch die Spannweite der BS-Gehalte wurde hier geringer. Diese Tendenz war bei Silagen von *D.glom.* aufgrund insgesamt höherer BS-Gehalte ausgeprägter als bei *F.spec.*

Auffallend war dagegen, daß bei den Folgeaufwüchsen, insbesondere den zweiten Aufwüchsen, zwischen den VK-Klassen kaum Unterschiede im BS-Gehalt trotz Unterschieden im GS- und MS-Gehalt auftraten.

In Tabelle 25 sind weitere Parameter der Gärqualität nach Pflanzenarten und Vergärbarkeit zusammengefaßt. Aus dieser Tabelle geht hervor, daß die Unterschiede im Gehalt an Essigsäure, Alkohol und Ammoniak-N sowohl zwischen den Pflanzen-

arten, als auch zwischen den VK-Klassen sehr gering sind. Es ist jedoch die Tendenz festzustellen, daß mit höherer Vergärbarkeit des Grünfutters nach VK die ES-Gehalte sinken.

Tabelle 25: Gärqualität der Silagen von *D.glom.* und *F.spec.* nach Vergärbarkeit (VK); Essigsäure(ES)-, Alkohol(Alk.)- und Ammoniak-N ( $\text{NH}_3\text{-N}$ )-Gehalt in % der TS bzw. % Ges.-N; Mittelwert und Spannweite

	VK < 35 schwer vergärbar			VK 35...45 mittelschwer vergärbar			VK > 45 leicht vergärbar		
	ES	Alk	$\text{NH}_3\text{-N}$	ES	Alk	$\text{NH}_3\text{-N}$	ES	Alk	$\text{NH}_3\text{-N}$
<b><i>D.glom.</i></b>									
n	7			13			15		
Mittel	1,6	0,4	8,1	1,2	0,8	11,0	0,6	0,7	7,8
Spannweite	0,7...2,5	0,1...0,8	2,5...22,5	0...2,3	0,3...1,4	6,2...30,6	0,2...1,6	0,1...1,5	4,2...15,2
<b><i>F.spec.</i></b>									
n	5			11			19		
Mittel	1,6	0,6	6,3	1,2	0,8	8,8	0,7	0,9	7,8
Spannweite	1,4...1,9	0,4...0,8	4,8...8,4	0,5...1,9	0,5...1,3	4,6...11,8	0...1,8	0,3...1,7	4,6...12,2

In Abbildung 38 sind abschließend die BS-Gehalte der Silagen beider Pflanzenarten in Abhängigkeit von der Vergärbarkeit und getrennt nach Aufwüchsen dargestellt. Es wird deutlich, daß die Aufwüchse in den VK-Klassen nach BS-Gehalt unterschiedlich vertreten waren. BS-freie Silagen ( $\leq 0,3$  % BS) traten nur bei den 2. und 3. Aufwüchsen auf und zwar bei VK < 45. Ab VK > 45 enthielten alle Silagen aller Aufwüchse und Pflanzenarten Buttersäure. Extrem hohe BS-Gehalte über 4 % BS traten zwar nur in der Klasse VK < 45 auf. Auch bei VK > 45 waren aber noch sehr hohe BS-Gehalte festzustellen.

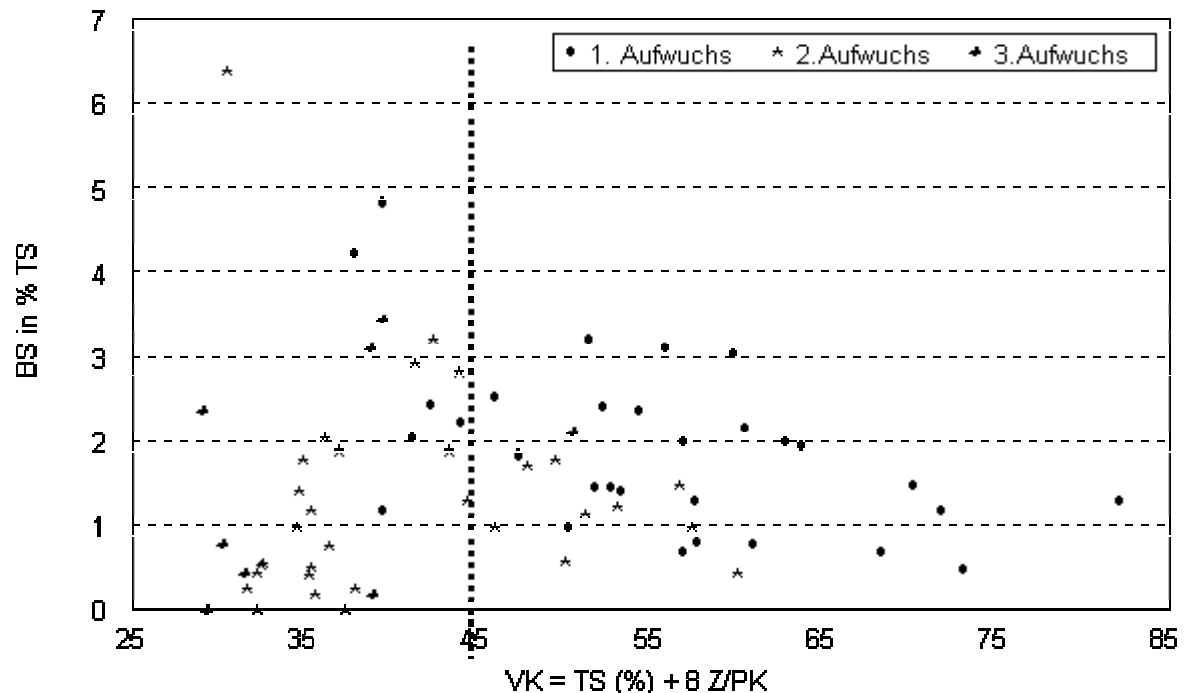


Abbildung 38: Buttersäuregehalt in Silagen in Abhängigkeit von der Vergärbarkeit (VK) des nitratarmen Grünfutters nach Aufwüchsen; n=70 *D.glom.* und *F.spec.*; 1993-1996

Der allgemein verwendete Grenzwert für buttersäurefreie Silagen mit einem BS-Gehalt von  $\leq 0,3$  % d.TS wurde deshalb eingeführt, weil nach der gaschromatografischen Bestimmung der flüchtigen Fettsäuren Gesamt- BS-Gehalte bis 0,1 % in der Frischmasse nicht eindeutig zu identifizieren sind.

Aus Abbildung 38 geht hervor, daß bei nitratarmem Grünfutter die Einschätzung der Vergärbarkeit mit VK im Hinblick auf die Erzeugung BS-freier Silagen nicht ohne Einschränkung anwendbar ist. Das Auftreten von Buttersäure in Silagen, auch bei nach VK leicht vergärbarem Grünfutter, deutet darauf

hin, daß offensichtlich auch der Nitratgehalt im Ausgangsmaterial zu berücksichtigen ist. Desweiteren ist höchstwahrscheinlich auch dem Epiphytenbesatz besondere Bedeutung beizumessen.

Es erhebt sich die Frage, wie hoch der Epiphytenbesatz auf dem jeweiligen Grünfutter war. Die Ergebnisse zur Höhe des natürlichen Laktobakterienbesatzes werden im Zusammenhang mit den Ergebnissen zur Vergärbarkeit (s. Kap. 4.3) erläutert.

*F.spec. und D.glom. wiesen bei gleicher VK-Klasse eine unterschiedliche Gärqualität auf. BS-freie Silagen traten nur bei den nach VK schwer und mittelschwer vergärbaren zweiten und dritten Aufwüchsen auf, dagegen trat Buttersäure trotz Milchsäurebildung in Silagen von Grünfutter mit VK bis 83 auf.*

#### 4.2.3 Gärqualität von Silagen aus Grasmischungen (1998)

Die Gärqualität von Silagen aus den Grasmischungen jeweils eines Aufwuchses wurde aus drei einzeln beprobten Parallelansätzen des Silierversuches ermittelt und in Tabelle 26 mit dem jeweiligen Mittelwert zusammengestellt.

Aus Tabelle 26 geht zunächst hervor, daß in den meisten Silagen unabhängig von der Vergärbarkeit des Grünfutters eine mehr oder weniger ausgeprägte Milchsäuregärung stattgefunden hat. Nur zwei Silagen wiesen nach Auslagerung keine Milchsäure mehr auf. In diesen Silagen waren sowohl die pH-Werte, als auch die BS- und Ammoniak-Gehalte sehr hoch. Der Anteil n-BS an der Gesamt-BS lag zwischen 69 und 77%.

In den anderen Silagen wurde unabhängig von der Schnitt-Nutzung und der jeweiligen Variante sowie der Grasmischung Milchsäure und Buttersäure nachgewiesen. Ammoniak ist in vergleichsweise geringem Ausmaß gebildet worden. Der Anteil an n-Buttersäure ist mit Werten zwischen 83 und 100 % sehr hoch einzuschätzen.

Bemerkenswert ist auch in diesem Versuchsprogramm das Ergebnis gewesen, daß nur zwei Silagen nahezu BS-frei waren.

Die mittleren Essigsäuregehalte aller Versuche lagen mit Werten zwischen 0,3 und 2,4 % ES sehr niedrig, wobei ev. vorhandene Propionsäure bereits einbezogen ist. Ebenfalls gering waren die Alkoholgehalte mit Werten zwischen 0,7 und 2,8 % in TS.

Zur Beurteilung der Gärqualität der Silagen nach Vergärbarkeit des Grünfutters wurden in Tabelle 27 ausgewählte Gärparameter aller Silagen für die 1., 2. und 3. Aufwüchse und VK-Klassen gemittelt und mit der Spannweite angegeben. Bei der Auswertung dieser 20 Laborsilierversuche wurden die Klassen mit VK < 35 (schwer vergärbar) und VK 35 ... 45 (mittelschwer vergärbar) zusammengefaßt in VK < 45.

Zunächst ist festzustellen, daß auch hier der GS-Gehalt um so höher war, je geringer die VK-Klasse war.

Je höher die Vergärbarkeit des Grünfutters bei den ersten Aufwüchsen war, desto mehr Milchsäure wurde gebildet. Bei den zweiten Aufwüchsen war diese Tendenz entgegengerichtet.

Tabelle 26: Merkmale der Gärqualität von Silagen aus nitratarmem Grünfutter (Grasmischungen aus unterschiedlichen Nutzungsvarianten) Mittelwerte für je einen Silierversuch aus 3 Parallelansätzen (n=3)

Nutzung Aufwuchs	3-Schnitt; Variante A						3-Schnitt; Variante B						2-Schnitt; Variante C							
	1		2		3		1		2		3		1				2			
	6 3	5 3	6 3	5 <sup>4)</sup> 2	6 3	5 3	6 3	5 <sup>3)</sup> 2	6 3	5 <sup>4)</sup> 2	6 3	5 <sup>4)</sup> 2	6 3	5 <sup>4)</sup> 2	2 3	4 3	6 3	5 3	2 3	4 3
<b>pH</b>	6,0	4,8	4,6	4,2	4,9	5,9	4,6	4,2	4,7	4,5	4,1	4,2	4,4	4,7	4,0	4,0	4,0	4,9	4,0	4,6
<b>MS</b> % d. TS	0,0	2,0	1,8	3,5	2,3	0,1	1,5	3,2	1,7	2,6	6,3	5,5	0,8	1,2	1,9	2,3	4,5	1,3	5,0	2,2
<b>ES* <sup>1)</sup></b> % d. TS	2,2	0,3	0,4	2,4	0,9	2,2	0,7	1,8	0,6	0,8	1,3	1,0	0,5	0,4	0,7	1,3	0,6	0,6	1,1	0,5
<b>BS</b> % d. TS	6,1	1,6	2,6	2,7	4,9	8,6	2,9	1,4	1,6	3,8	0,2	2,0	1,1	4,2	1,5	1,0	1,3	5,2	0,3	4,4
<b>n-BS</b> % an BSges	69	100	100	100	90	77	99	88	100	100	100	95	100	88	100	100	100	83	88	93
<b>Alk. <sup>2)</sup></b> %d.TS	2,5	1,8	1,3	3,4	2,2	2,7	1,9	1,7	1,5	2,8	2,1	2,5	1,0	1,6	1,3	0,7	1,0	1,2	1,5	1,6
<b>NH<sub>3</sub>-N</b> % Ges.-N	33,8	10,0	9,7	12,1	12,6	24,7	11,7	10,2	9,1	9,6	10,3	12,2	7,3	14,7	4,5	7,1	6,2	14,5	8,0	12,1

1) ES = ES + PS

2) Alkohol = Ethanol + Propanol

3) Eine Silage war BS-frei, die anderen beiden Silagen BS-haltig; für die Auswertung: Mittelwert beider BS-haltiger Silagen

4) Einer von drei Ansätzen wurde aufgrund Schimmelbildung verworfen.

Bei den ersten und zweiten Aufwüchsen lagen die BS-Gehalte in der höheren VK-Klasse deutlich niedriger als in der Klasse des schwer und mittelschwer vergärbaren Grünfutters. Besonders hervorzuheben ist, daß in allen VK-Klassen trotz Milchsäuregärung Buttersäure nachgewiesen wurden.

Vom ersten zum dritten Aufwuchs in der VK-Klasse < 45 bzw. vom ersten zum zweiten Aufwuchs in der VK-Klasse > 45 stiegen die Gehalte an Gesamtsäuren, aber auch an Milchsäure und Buttersäure, so daß bei den zweiten bzw. dritten Aufwüchsen innerhalb einer VK-Klasse die höchste Gärungsintensität zu verzeichnen war.

Tabelle 27: Gärqualität der Silagen von Grasmischungen unterschiedlicher Nutzungsintensität nach Vergärbarkeit (VK) und Aufwuchs; Milchsäure (MS), Buttersäure (BS), Gesamtsäure (GS) in % der TS; Mittelwert und Spannweite

	VK < 45 mittelschwer und schwer vergärbar			VK > 45 leicht vergärbar		
	MS	BS	GS	MS	BS	GS
<b>1. Aufwuchs</b>						
n	3	3	3	5	5	5
Mittel	0,9	4,4	6,4	2,0	1,3	4,2
Spannweite	0 - 1,5	2,9 - 6,1	5,1 - 8,4	0,8 - 3,2	1,0 - 1,6	2,4 - 6,3
<b>2. Aufwuchs</b>						
n	5	5	5	3	3	3
Mittel	3,1	3,0	6,8	2,3	2,3	5,8
Spannweite	1,3 - 5,0	0,3 - 5,2	6,3 - 7,1	1,7 - 3,5	1,6 - 2,7	3,9 - 8,6
<b>3. Aufwuchs</b>						
n	4	4	4			
Mittel	3,6	4,6	9,5			
Spannweite	0,1 - 6,3	0,2 - 8,6	7,9 - 11,3			

Weiterhin gab es nahezu keine BS-freien Silagen, wie auch aus Abbildung 39 deutlich hervorgeht. Bei den beiden Silagen mit den BS-Gehalten < 0,3 % stammte das Ausgangsmaterial zur Silierung vom zweiten bzw. dritten Aufwuchs. Extrem hohe BS-Gehalte über 4 % traten nur in der VK-Klasse < 45 auf. In der VK-Klasse > 45 lagen die BS-Gehalte zwischen 1 und 2,7 % BS und wiesen damit ebenfalls noch hohe Werte auf. In der Tendenz sanken sie in dieser VK-Klasse mit zunehmendem VK-Wert ab.

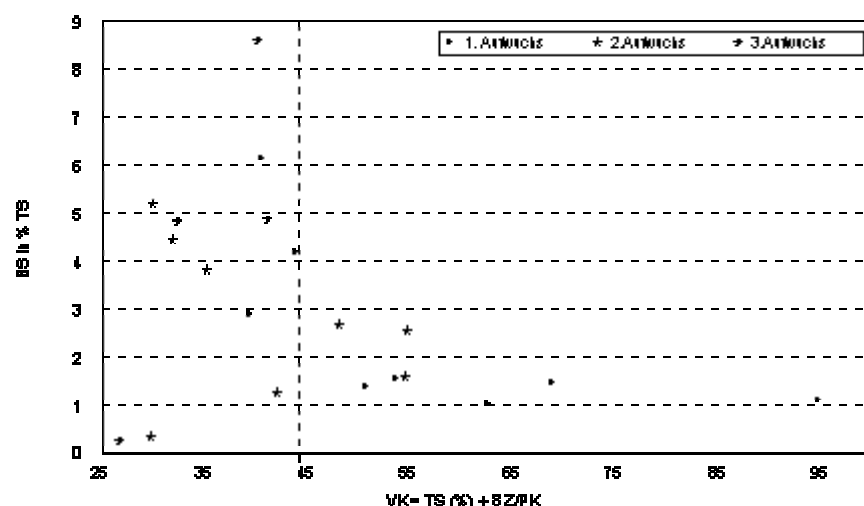


Abbildung 39: Buttersäure-Gehalt in Silagen in Abhängigkeit von der Vergärbarkeit (VK) des Grünfutters nach Aufwüchsen (Grasmischungen, 1998)

Unabhängig von der Vergärbarkeit nach VK traten in den meisten Silagen des nitratarms Grünfutters (Grasmischungen) Milchsäure und Buttersäure parallel und Buttersäure meist in erheblichem Umfang auf. Essigsäure- Alkohol- und Ammoniakgehalte waren jedoch sehr niedrig.

#### 4.2.4 Siliermittelwirkung auf die Gärqualität der Silagen

Offen ist bisher die Frage, durch welche siliertechnischen Maßnahmen das Fehlen von Nitrat im Siliergut ausgeglichen werden kann, um buttersäurefreie Silagen erzielen zu können.

Aufgrund der Aziditätsabhängigkeit der Clostridienentwicklung zu Gärbeginn wurde dazu der Zusatz von zwei gegenwärtig auf dem Markt befindlichen Milchsäurebakterienpräparaten (MSB A und MSB B) sowie Ameisensäure (AS) geprüft. Ableitend aus den im Kapitel 4.1 dargestellten Ergebnissen zum Gärungsverlauf war jedoch auch ein direkter Hemmstoffzusatz, wie Nitrat/ Nitrit, in Betracht zu ziehen. Ein nitrithaltiges Siliermittel (in den folgenden Auswertungen auch als „Nitrit“ bezeichnet) wurde ab dem Versuchsjahr 1994 eingesetzt, so daß dafür dreijährige Ergebnisse vorliegen. Da in Einzelfällen die für den Versuch verfügbare Siliergutmenge nicht ausreichend war, bestehen in der Anzahl der in die Auswertung einbezogenen Silagen geringfügige Unterschiede.

##### 4.2.4.1 Wirkung von Milchsäurebakterien

Zunächst wurden zur Beurteilung der Siliermittelwirkung die Gehalte an  $BS_{Ges.}$  herangezogen, da sie das bestimmende Merkmal für die Gärqualität der Silagen darstellen. In Abbildung 40 sind die durchschnittlichen BS-Gehalte in den Silagen aus *D.glom.* und *F.spec.* den MS-Gehalten, nach Vergärbarkeit des Grünfutters, gegenübergestellt. Die Abbildung weist die mittleren Gehalte aus vier Versuchsjahren bei Zusatz von MSB-Präparaten im Vergleich zur Kontrolle aus. Durch den Zusatz von MSB A bzw. MSB B wurde ein Keimbesatz von jeweils  $>10^5$  KBE/ g FM eingestellt.

Aus Abbildung 40 geht hervor, daß in der VK-Klasse  $< 35$  die Unterschiede bei beiden Pflanzenarten zwischen Kontroll- und Zusatzvarianten bezüglich der MS-Gehalte auffallend gering waren. Erst mit zunehmendem VK zeigten sich Unterschiede in der Höhe des MS-Gehaltes. Während die MS-Gehalte in den Kontrollvarianten von *D.glom.* und *F.spec.* mit höherem VK gesunken waren, wiesen die Varianten mit MSB-Zusatz eine ausgeprägte MS-Gärung, auch in den höheren VK-Klassen, auf. Die Silagen aus *F.spec.* hatten stets die höheren MS-Gehalte im Vergleich zu *D.glom.* .

Zugleich ist auffallend, daß mit Verbesserung der Vergärbarkeit und trotz MSB-Zusatz insbesondere bei *F.spec.* kaum ein Rückgang der BS-Gehalte eingetreten ist. Obwohl durch Zusatz von MSB-Präparaten die MS-Gärung ab VK  $> 35$  deutlich gefördert wurde, konnten die BS-Gehalte in den Silagen aus beiden Pflanzenarten in allen VK-Klassen gegenüber der jeweiligen Kontrolle nur eingeschränkt werden. Die Absenkung der mittleren BS-Gehalte durch MSB-Zusatz gegenüber der Kontrolle war aber in der Tendenz um so höher, je höher die VK-Klasse des Ausgangsmaterials war. Mit einzelnen Werten bis 3,1% Buttersäure (nicht dargestellt) in der VK-Klasse  $> 45$  haben jedoch noch hohe Gehalte vorgelegen. In der VK-Klasse 35...45 waren trotz MSB-Zusatz sogar BS-Gehalte bis 4,6% in einzelnen Silagen nachgewiesen worden.

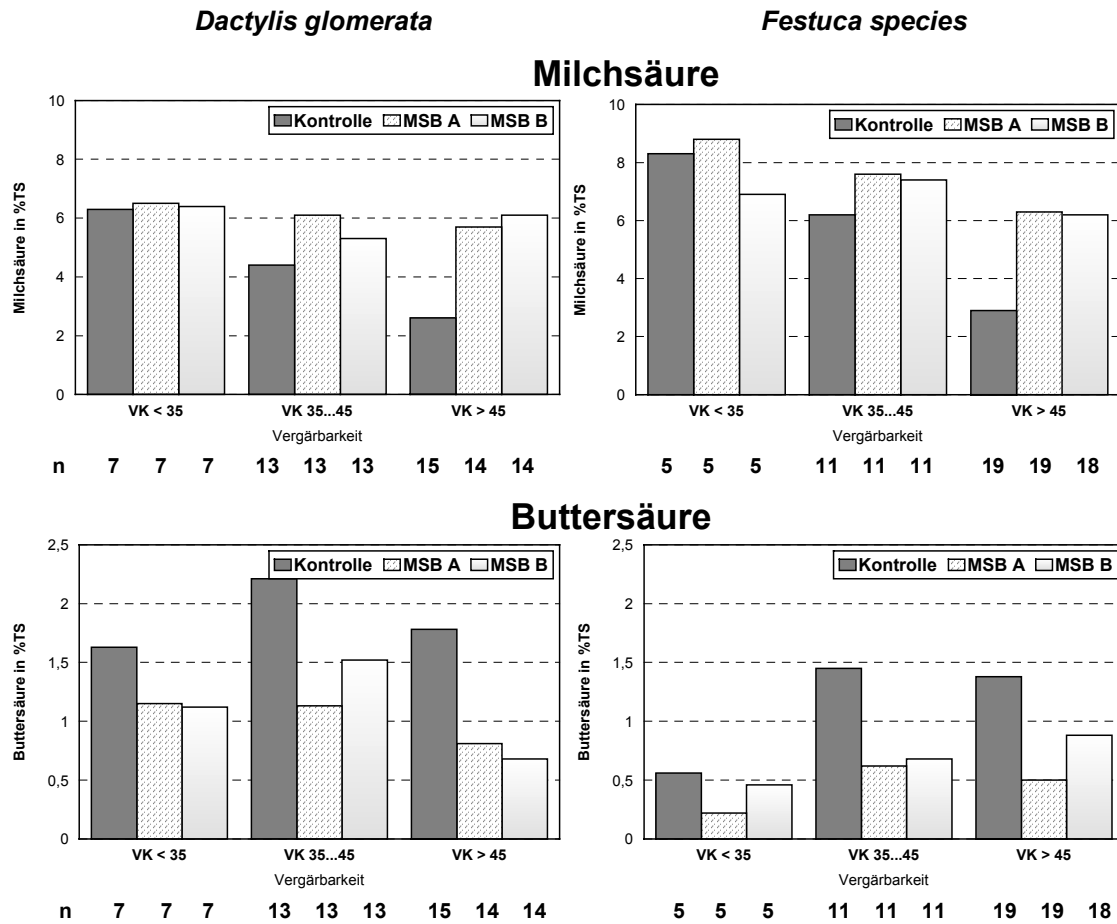


Abbildung 40: Buttersäure- ( $BS_{Ges.}$ ) und Milchsäuregehalt in Silagen aus *D.glom.* und *F.spec.* bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B nach Klassen der Vergärbarkeit; Mittelwerte (1993-1996)

Aus Abbildung 41 zum BS-Gehalt in Silagen mit MSB-Zusatz nach Vergärbarkeit des Grünfutters wird deutlich erkennbar, daß bei nitratarmem Grünfutter der Zusatz von MSB mit mehr als  $10^5$  KBE/ g FM nicht ausreichend war, um BS-freie Silagen zu erhalten. Extrem hohe BS-Gehalte über 4 % traten zwar nur bei VK < 45 auf. BS- Gehalte zwischen 0 und 4%, ebenfalls noch sehr hoch, waren aber sowohl in der VK-Klasse < 45 als auch bei leicht vergärbarem Grünfutter (VK > 45) vorhanden.



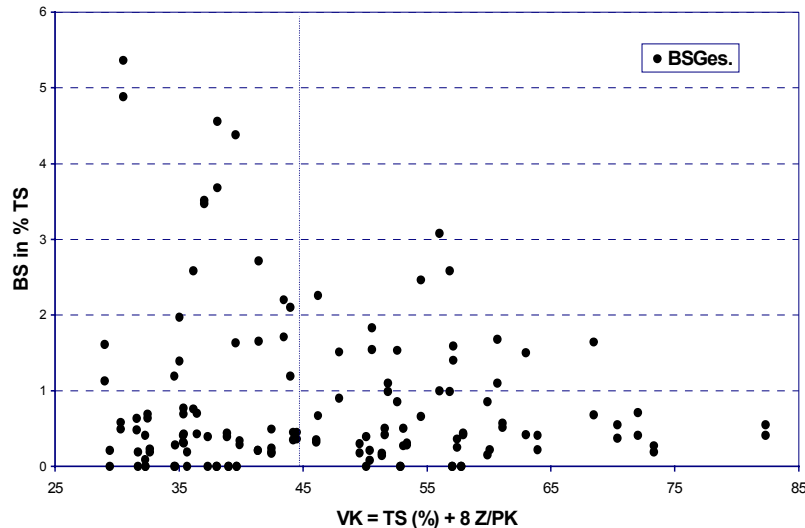


Abbildung 41: Buttersäuregehalt in Silagen aus nitratarmem Grünfutter (*D.glom.* u. *F.spec.*) mit MSB-Zusatz ( $>10^5$  KBE/ g FM) in Abhängigkeit von der Vergärbarkeit des Grünfutters (1993-1996); n= 137

Im folgenden wird die Verteilung der Silagen mit MSB-Zusatz nach BS-Klassen dargestellt (s. Abb. 42). Dabei bleiben die VK-Werte des Ausgangsmaterials zur Silierung, die ansonsten bei der Siliermittelprüfung verwendet werden, unberücksichtigt. Dieses Vorgehen ist zunächst damit begründet, daß die Wirkung des MSB-Zusatzes nachfolgend mit den Wirkungen des AS-Zusatzes und eines nitrithaltigen Siliermittels, die für andere Wirkungsbereiche nach VK empfohlen sind, verglichen werden. Das Vorgehen erscheint auch deshalb gerechtfertigt, da mit MSB-Zusatz die Unterschiede bezüglich der BS-Gehalte bei beiden Pflanzenarten zwischen den VK-Klassen eher als gering einzuschätzen sind.

Bei beiden Pflanzenarten konnte durch den Zusatz der MSB-Präparate A und B der Anteil der Silagen mit BS-Gehalten  $\leq 0,3$  % bzw. 0,3 bis 0,5 % BS in % TS gegenüber der Kontrolle erhöht werden. Trotz MSB-Zusatz haben aber in ca. 40 % der Silagen beider Pflanzenarten BS-Gehalte über 0,5 %, die bereits ein Risiko für die Gärqualität darstellen können, vorgelegen. Silagen mit BS-Gehalten über 2,6 %, die als sehr hoch einzustufen sind, traten ebenfalls trotz MSB-Zusatz auf. Es zeigten sich Unterschiede bezüglich der Verteilung in den BS-Klassen zwischen den Pflanzenarten.

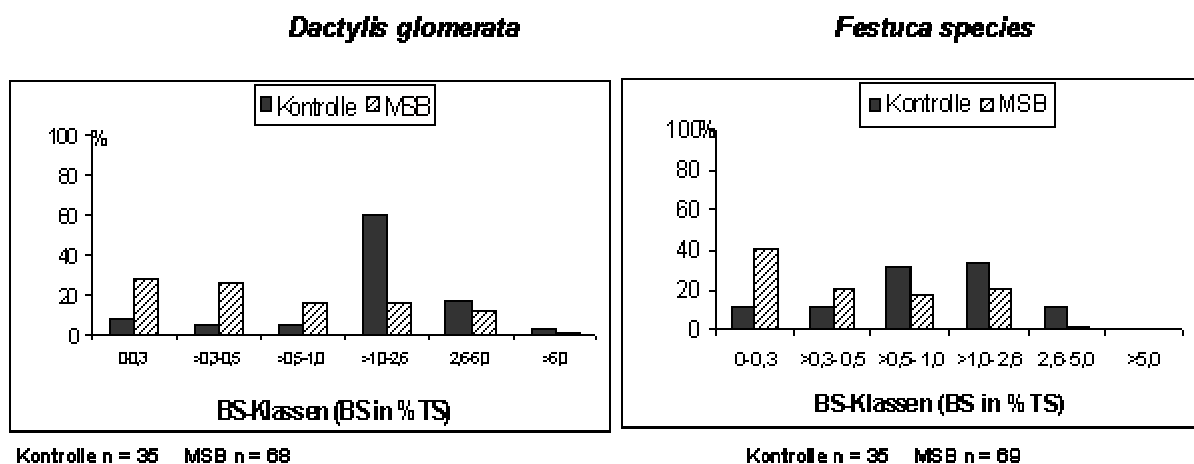


Abbildung 42: Verteilung der Silagen aus *D.glom.* und *F.spec.* mit Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB A und B zusammengefaßt) in den BS-Klassen im Vergleich zur Kontrolle (1993-1996)

In Tabelle 28 sind die ES-Gehalte bei Zusatz von Milchsäurebakterien mit Mittelwerten und Spannweite aufgeführt.

Die ES-Gehalte wurden durch den Zusatz von MSB-Präparaten im Vergleich zur Kontrollvariante in allen VK-Klassen sowohl bei Silagen aus *D.glom.* als auch aus *F.spec.* kaum beeinflusst. Jedoch sanken in allen Varianten die durchschnittlichen Gehalte an Essigsäure mit höherer Vergärbarkeit nach VK deutlich ab.

Insgesamt traten in allen VK-Klassen und Varianten im Durchschnitt ES-Gehalte bis maximal 1,8 % und in Einzelfällen (siehe Spannweite) bis höchstens 2,8 % auf.

Tabelle 28: Essigsäuregehalt der Silagen aus *D.glom.* und *F.spec.* bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB) A und B nach Klassen der Vergärbarkeit; Mittelwert und Spannweite (1993-1996)

ES (%TS) (ES=ES+PS9)	VK < 35			VK 35...45			VK > 45		
	Kontrolle	MSB A	MSB B	Kontrolle	MSB A	MSB B	Kontrolle	MSB A	MSB B
<i>D.glom.</i>									
n	7	7	7	13	13	13	15	14	14
Mittel	1,6	1,8	1,6	1,2	0,9	1,1	0,6	0,6	0,5
Spannweite	0,7...2,5	1,3...2,4	1,1...2,5	0...2,3	0,5...1,6	0,6...2,0	0,2...1,6	0,4...1,2	0...1,3
<i>F.spec.</i>									
n	5	5	5	11	11	11	19	19	18
Mittel	1,6	1,7	1,6	1,2	1,3	1,5	0,7	0,7	0,7
Spannweite	1,4...1,9	1,3...2,0	1,4...1,8	0,5...1,9	0,8...2,1	0,9...2,8	0...1,8	0...1,5	0...1,5

Aus Abbildung 43 ist die Höhe der mittleren ES-Gehalte mit Spannweite in Abhängigkeit vom Aufwuchs bei Zusatz beider MSB-Präparate im Vergleich zur Kontrolle ersichtlich. Da bezüglich der ES-Gehalte zwischen den Pflanzenarten nahezu keine Unterschiede bestehen, wurden beide für diese Auswertung zusammengefaßt.

Aus Abbildung 43 geht hervor, daß die mittleren ES-Gehalte in allen Silagen vom ersten bis zum dritten Aufwuchs angestiegen sind. Auch hier sind Unterschiede zwischen Kontrolle und Varianten mit Inoculantien nur gering. Besonders auffällig ist, daß in den Silagen des zweiten Aufwuchses die höchsten ES-Gehalte nachzuweisen waren (max. Wert). Weiterhin ist bemerkenswert, daß im Gegensatz zu ersten und zweiten Aufwüchsen alle Silagen des dritten Aufwuchses stets Essigsäure größer Null, d.h. > 0,6 % der TS enthielten.

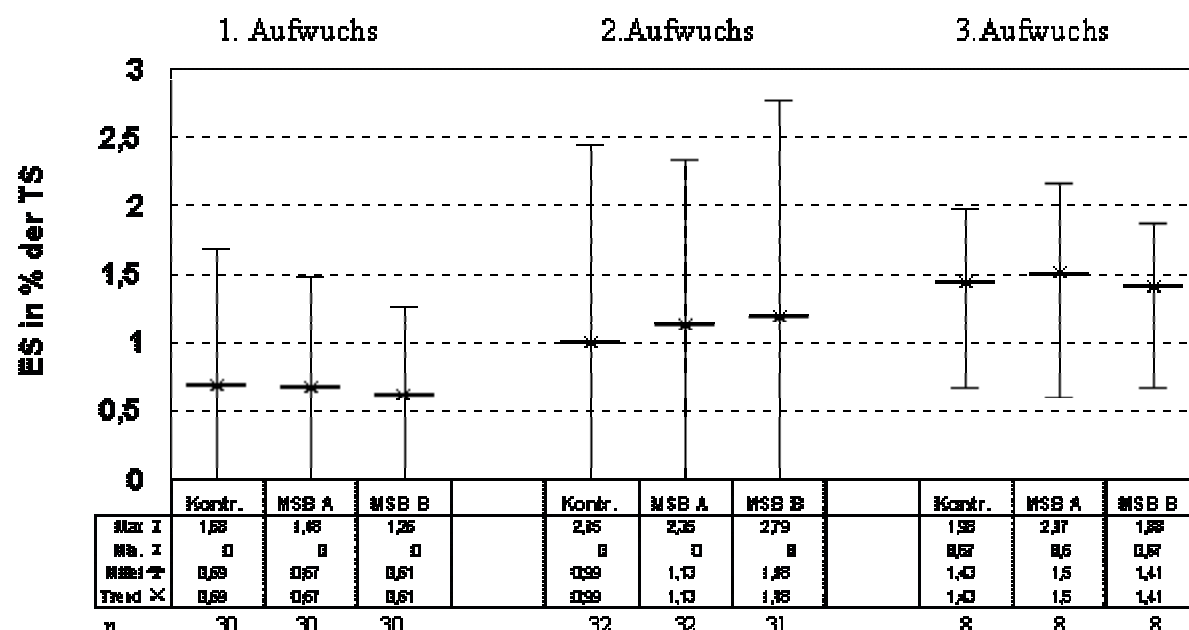


Abbildung 43: Essigsäure-Gehalt in Silagen aus nitratarmem Grünfutter (*D.glom.* und *F.spec.*) in Abhängigkeit vom Aufwuchs bei Zusatz von Milchsäurebakterienpräparaten (MSB) A und B (1993-1996)

Die Ammoniakgehalte in den Silagen (nicht dargestellt) variierten kaum in Abhängigkeit von Pflanzenart, Vergärbarkeit und MSB-Zusatz. Die mittleren Ammoniakgehalte lagen in allen Varianten unter 10 %  $\text{NH}_3\text{-N}$  am Ges.-N. Nur in Einzelfällen traten bei den Silagen aus *D.glom.* aus der VK-Klasse < 45 mit MSB-Zusatz Ammoniakgehalte über 20 % auf.

Die Alkoholgehalte (nicht dargestellt) waren unabhängig von Pflanzenart, Vergärbarkeit und MSB-Zusatz mit mittleren Werten zwischen 0,4 und 0,9 % extrem niedrig. Sie erreichten in Einzelfällen, und nur bei *F.spec.*, etwas höhere Werte bis maximal 2,7 % d.TS. Vergleichbare Tendenzen wie bei der Essigsäure zur Höhe der Alkoholgehalte in Abhängigkeit vom Aufwuchs ließen sich nicht feststellen.

Die Wirkung der einzelnen MSB-Präparate A und B hinsichtlich Unterdrückung der BS-Gärung und Bildung der anderen unerwünschten Stoffabbauprodukte unterschied sich insgesamt nur geringfügig, so daß in weiteren Auswertungen beide Zusatzpräparate zusammengefaßt wurden.

*Durch Zusatz von MSB-Präparaten konnten die BS-Gehalte im Vergleich zur jeweiligen Kontrollvariante eingeschränkt werden. Unabhängig von der Vergärbarkeit des Grünfutters und hohen MS-Gehalten traten aber auch bei MSB-Zusatz in Einzelfällen noch sehr hohe BS-Werte auf. Bei den Silagen aus F.spec. sind die Wirkungen des MSB-Zusatzes im Hinblick auf die Höhe der absoluten BS-Gehalte etwas günstiger zu beurteilen als bei Silagen aus D.glom. Die ES-Gehalte stiegen in den Silagen des Grünfutters mit und ohne MSB-Zusatz vom ersten bis dritten Aufwuchs an.*

#### 4.2.4.2 Wirkung von Ameisensäure

Wie aus Abbildung 44 zu den mittleren BS- und MS-Gehalten erkennbar ist, wurde in allen VK-Klassen und bei beiden Pflanzenarten die MS-Gärung durch AS-Zusatz im Vergleich zur Kontrolle sehr stark eingeschränkt.

Die BS-Bildung in den Silagen konnte durch Zusatz von Ameisensäure im Vergleich zur Kontrollvariante in nahezu allen VK-Klassen beider Pflanzenarten reduziert werden. Eine Ausnahme bildeten dabei Silagen aus schwer vergärbarem Grünfutter von *F.spec.*, in denen mit Ameisensäurezusatz höhere BS-Gehalte vorlagen als in der Kontrolle.

Bei den Silagen aus *D.glom.* wurde der mittlere BS-Gehalt mit zunehmender VK-Klasse relativ stärker abgesenkt. Diese Tendenz war bei den Silagen aus *F.spec.* nicht in dem Maße erkennbar. Bei einzelnen Silagen mit AS-Zusatz traten bei nach VK leicht vergärbarem Grünfutter mit Werten bis 4,7 % jedoch hohe BS-Gehalte auf (nicht dargestellt).

Aus Abbildung 45 zur Verteilung der Silagen aus *D.glom.* und *F.spec.* in den BS-Klassen geht hervor, daß durch AS-Zusatz der Anteil der Silagen mit  $\text{BS} \leq 0,3\%$  sowohl bei *D.glom.* als auch bei *F.spec.* deutlich erhöht werden konnte. Bei beiden Pflanzenarten lag aber der Anteil der Silagen mit BS-Gehalten über 0,5 % trotz der Säuerung bei ca. 40 % und war damit noch sehr groß. Auch hier hatten BS-Gehalte über 2,6 % vorgelegen, so daß die Wirkung der Ameisensäure insgesamt als unsicher einzuschätzen ist.

Die Dosierung des Ameisensäurezusatzes von 4,6 l der 85 % Säure pro Tonne erfolgte in den Versuchen nach Frischmassemenge des Siliergutes. Da aber hinsichtlich des TS-Gehaltes von beiden Pflanzenarten sehr unterschiedliches Ausgangsmaterial für die Silierung zur Verfügung stand, wurde die zugesetzte AS-Menge auf

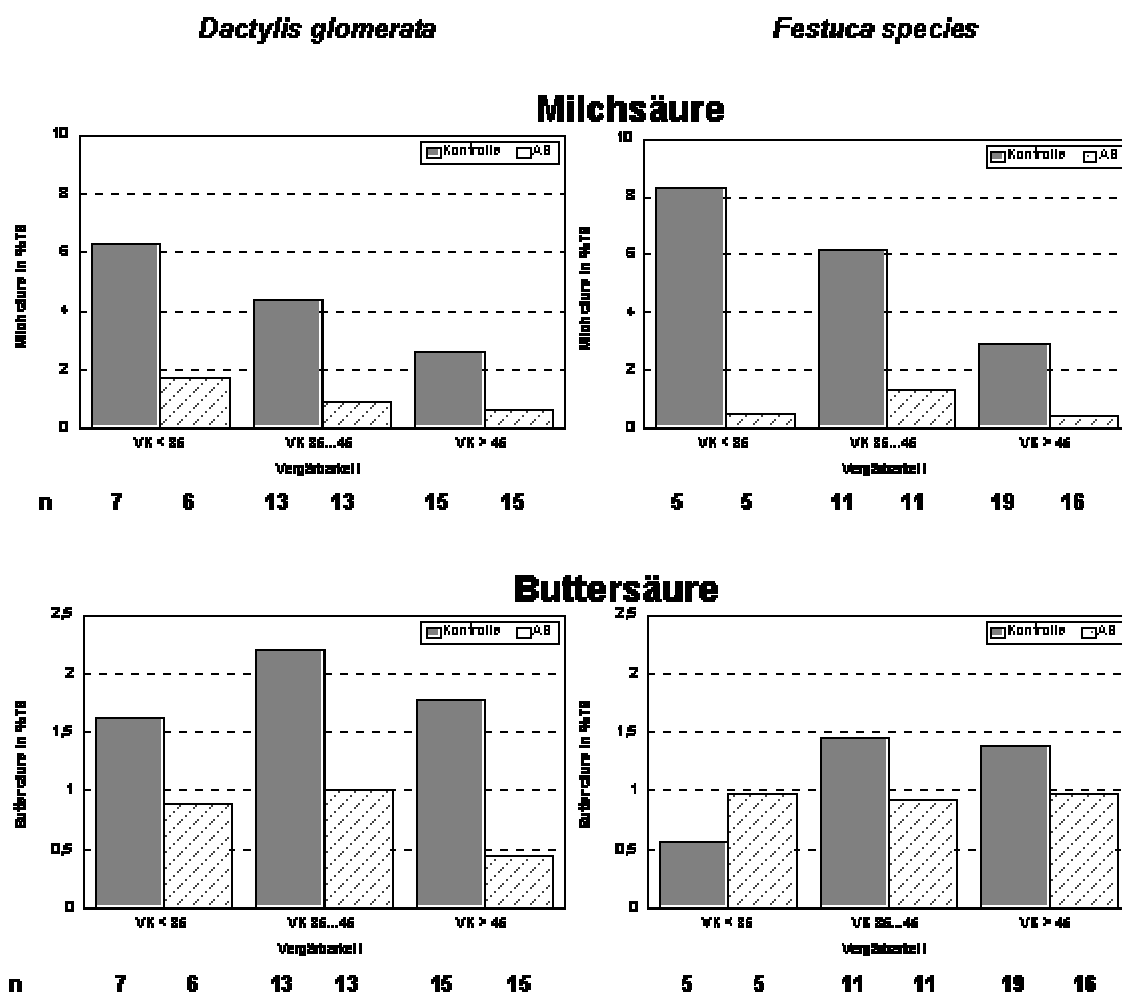


Abbildung 44: Buttersäure-(BS<sub>Ges.</sub>) und Milchsäuregehalt in Silagen aus *D.glom.* und *F.spec.* bei Zusatz von Ameisensäure (AS) nach Klassen der Vergärbarkeit; Mittelwerte (1993-1996)

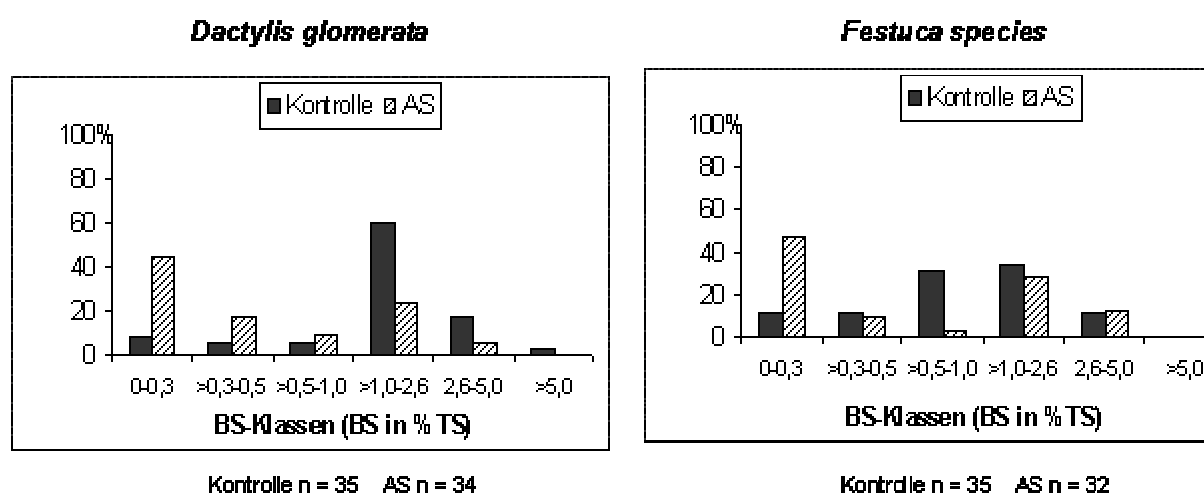


Abbildung 45: Verteilung der Silagen aus *D.glom.* und *F.spec.* mit Zusatz von Ameisensäure (AS) in den BS-Klassen im Vergleich zur Kontrolle (1993-1996)

TS des Siliergutes berechnet. Abbildung 46 zeigt die Verteilung der BS-Gehalte der Silagen in Abhängigkeit der AS-Dosierung, bezogen auf kg TS.

Es zeigte sich, daß mit der angewendeten AS-Dosierung, berechnet auf Frischmasse, im Bereich von ca. 0,2 bis 0,5 mol AS / kg TS siliert wurde. In diesem Konzentrationsbereich der Ameisensäure, bezogen auf das Siliergut, traten sowohl BS-freie, als auch BS-haltige Silagen auf. Ein Optimalbereich für die Konzentration des AS-Zusatzes bei der Silierung von nitratarmem Grünfütter, bezogen auf TS des Ausgangsmaterials zur Silierung, kann aus diesen Versuchen nicht abgeleitet werden.

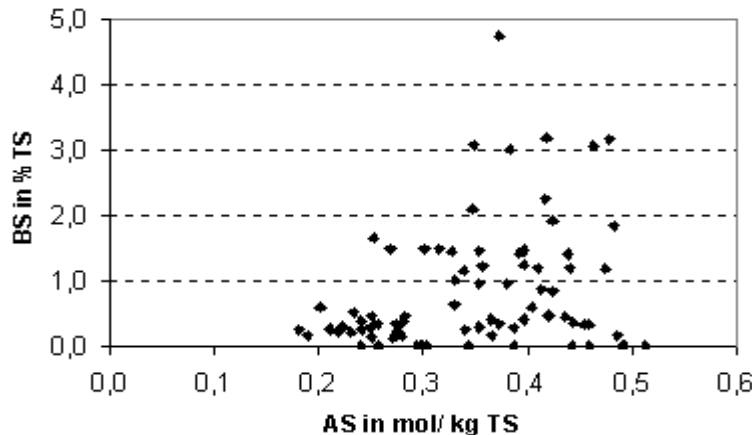


Abbildung 46: Buttersäure- Gehalt in Silagen aus nitratfreiem Grünfütter (*D.glom.* und *F.spec.*) bei Zusatz von Ameisensäure in mol / kg TS (1993-1996)

Die übrigen Parameter des Stoffabbaues (nicht dargestellt) wie Essigsäure, Alkohole und Ammoniak in den Silagen des Grünfütters aller VK-Klassen wurden durch AS-Zusatz im Vergleich zur Kontrolle reduziert. Insgesamt waren die Werte hierbei für Essigsäure, Ammoniak und Alkohol unabhängig von Pflanzenart und Vergärbarkeit sehr niedrig. Die ES-Gehalte beider Pflanzenarten wiesen höchstens 2,3 %, die Alkoholgehalte maximal 1,9 % auf. Der mittlere Ammoniakgehalt aller Silagen (n=66) mit AS-Zusatz betrug nur 4,3 %. Auch in den Silagen mit BS-Gehalten über 2,6 % waren höchstens 15 %  $\text{NH}_3\text{-N}$  an Ges.-N nachgewiesen worden.

*Durch den Zusatz von Ameisensäure konnten die BS-Gehalte im Vergleich zur Kontrollvariante eingeschränkt werden. Unabhängig von der Vergärbarkeit des Grünfütters traten aber auch bei AS-Zusatz in Einzelfällen noch sehr hohe BS-Werte auf bzw. war der Anteil der Silagen mit erhöhten BS-Gehalten groß.*

#### 4.2.4.3 Wirkung von nitrithaltigem Siliermittel

Bei den Versuchen mit dem nitrithaltigen Siliermittel (Nitrit), dargestellt in Abbildung 47, war die Intensität der Milchsäuregärung bei beiden Pflanzenarten vergleichbar mit der in den Kontrollsilagen. Der Zusatz des nitrithaltigen Siliermittels beeinflusste die MS-Bildung demzufolge nicht nachweislich. Die Unterschiede zwischen den Pflanzenarten waren nur gering.

Die BS-Gehalte konnten durch den Zusatz im Mittel unter 0,3 % BS d. TS reduziert werden. Dieser Effekt war unabhängig von Pflanzenart und Vergärbarkeit des Grünfütters festzustellen. Bei nach VK schwer und mittelschwer vergärbarem Grünfütter (VK < 45) wurde der BS-Gehalt in den Silagen durch das nitrithaltige Siliermittel prozentual um 88 bis 100 % abgesenkt. Beim leicht vergärbarem Grünfütter beider Pflanzenarten (VK > 45), das meist sehr hohe TS-Gehalte aufwies, war die relative Absenkung geringer und es traten vereinzelt auch Werte bis 0,9 % Buttersäure auf.

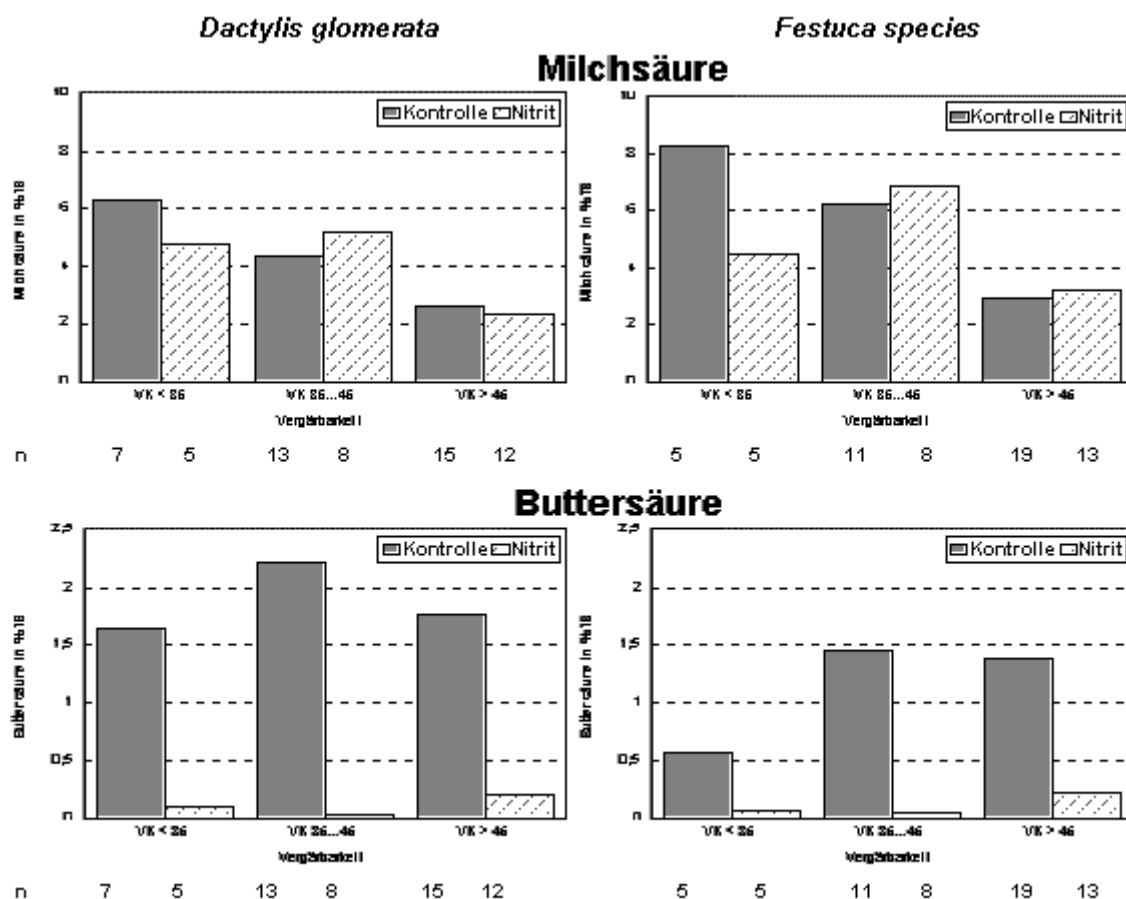


Abbildung 47: Buttersäure- ( $BS_{Ges.}$ ) und Milchsäure-Gehalt in Silagen aus *D.glom.* und *F.spec.* bei Zusatz eines nitrithaltigen Siliermittels (Nitrit) nach Klassen der Vergärbarkeit; Mittelwerte (1994-1996)

Wie aus Abbildung 48 hervorgeht, ist die Wirkung des nitrithaltigen Siliermittels insgesamt sehr positiv und etwas günstiger für die Silierung von *D.glom.* im Vergleich mit *F.spec.* zu beurteilen. Hier wiesen 96% aller Silagen BS-Gehalte bis 0,5 % d.TS auf. Silagen aus *F.spec.* hatten zu 88 % BS-Werte bis

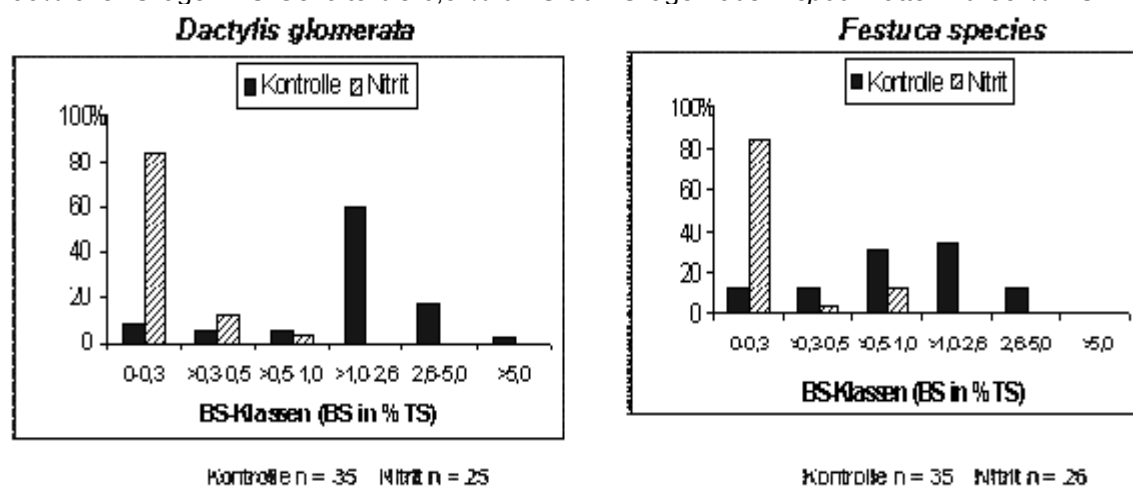


Abbildung 48: Verteilung der Silagen aus *D.glom.* und *F.spec.* mit Zusatz eines nitrithaltigen Siliermittels (Nitrit) in den BS-Klassen im Vergleich zur Kontrolle (1994-1996)

Bei der Auswertung von ES- und Ammoniak-Gehalten der Silagen (ohne Darstellung) zeigte sich, daß kaum Unterschiede zwischen Kontroll- und Zusatzvarianten sowie Pflanzenarten in allen VK-Klassen festzustellen waren.

Die mittleren ES-Gehalte in Silagen mit Nitritzusatz betrugen höchstens 1,4 %, der höchste Einzelwert 2,4 % ES in TS.

Die mittleren Ammoniak-Gehalte in Silagen mit Nitritzusatz betrugen maximal 10 %  $\text{NH}_3\text{-N}$  am Ges.-N und sind somit als gering einzustufen. Auch Höchstgehalte von 14,5 %  $\text{NH}_3\text{-N}$  am Ges.-N bei einzelnen Silagen des leicht vergärbaren Grünfutters sind noch als gering einzuschätzen.

Die mittleren Alkoholgehalte waren bei dieser Zusatzvariante bei beiden Pflanzenarten im Vergleich zur Kontrolle geringer und mit mittleren Werten zwischen 0,3 und 0,4 % extrem niedrig. Sie wiesen in einer Silage von *D.glom* 1,1 % als Höchstwert auf.

*Der Zusatz des nitrithaltigen Siliermittels erwies sich bei beiden Pflanzenarten als sehr wirksam hinsichtlich der Unterbindung von BS-Bildung. Vereinzelt traten bei leicht vergärbarem Grünfutter mit hohen TS-Gehalten Silagen mit BS-Gehalten über 0,5 % auf.*

#### 4.2.4.4 Vergleich der Siliermittel

Im folgenden werden die Zusätze von Milchsäurebakterien (MSB), Ameisensäure (AS) und einem nitrithaltigen Siliermittel (Nitrit) vergleichend gegenübergestellt. Dazu wurden nur die Gehalte an  $\text{BS}_{\text{Ges.}}$  herangezogen. Zum einen sind sie das bestimmende Merkmal für die Gärqualität der Silagen, andererseits sind die übrigen Merkmale des unerwünschten Stoffabbaues, wie Essigsäure-, Ammoniak- und Alkoholgehalt, durch die Zusätze kaum beeinflusst worden. Im Vergleich zur Kontrollvariante sind zumindest keine wesentlich höheren Gehalte aufgetreten.

In Abbildung 49 sind für alle Silagen von *D.glom.*, in Abbildung 50 für *F.spec.* die BS-Gehalte vierjähriger Versuche nach verwendetem Zusatz in Abhängigkeit von der Vergärbarkeit dargestellt. Für das nitrithaltige Siliermittel liegen nur dreijährige Ergebnisse vor. Die Varianten mit Zusatz von MSB A und B wurden aufgrund der nur geringfügig unterschiedlichen Wirkung zusammengefaßt.

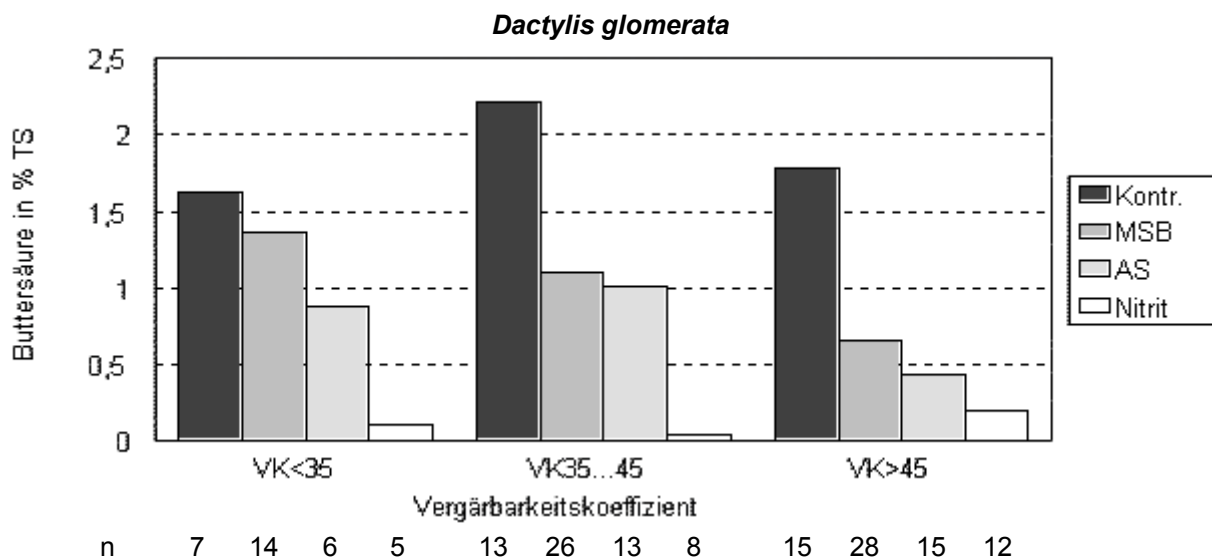


Abbildung 49: Buttersäuregehalt ( $\text{BS}_{\text{Ges.}}$ ) in nitratarmem Grünfutter von *D.glom.* bei verschiedenen Silierzusätzen (1993-1996)

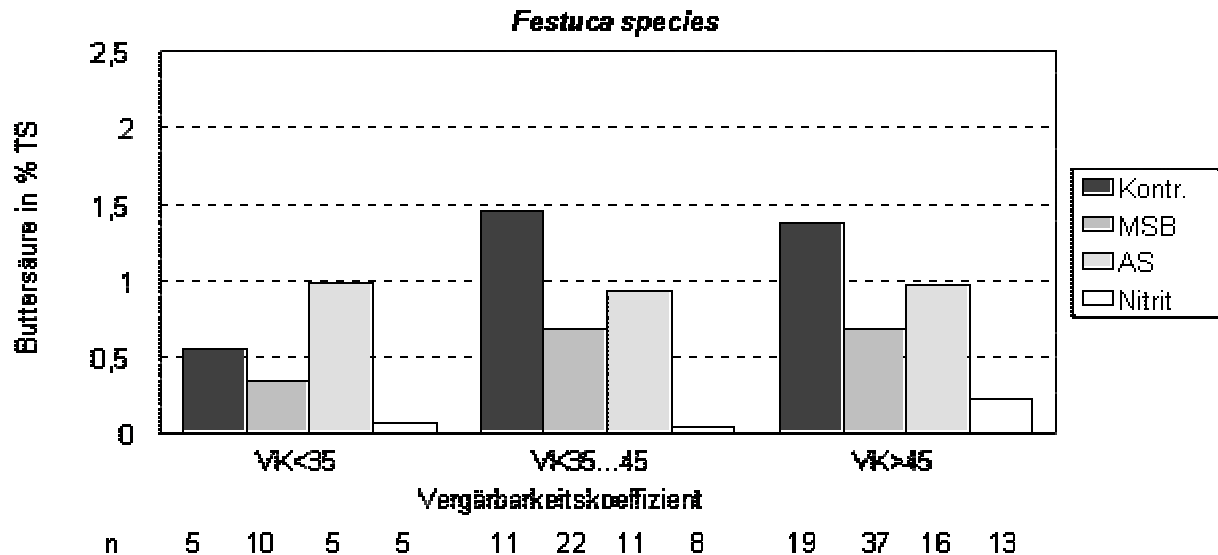


Abbildung 50: Buttersäuregehalt ( $BS_{Ges.}$ ) in nitratarmem Grünfutter (*F.spec.*) bei verschiedenen Silierzusätzen (1993-1996)

Aus Abbildung 49 geht hervor, daß bei Zusatz von Milchsäurebakterien und Ameisensäure die Höhe der BS-Gehalte in den Silagen aus *D.glom.* in allen Vergärbarkeitsklassen im Vergleich zur Kontrolle zurückgegangen ist. Ameisensäure erwies sich bezüglich der mittleren BS-Gehalte als wirkungssicherer im Vergleich zum MSB-Zusatz. Mit zunehmender Vergärbarkeit des Grünfutters sanken bei Verwendung beider Präparate in der Tendenz die mittleren BS-Gehalte in den Silagen. Jedoch sind die durchschnittlichen Gehalte trotz MSB-Zusatz von 0,7 % BS in der VK-Klasse > 45 bzw. 1,1 % in VK 35...45 bzw. trotz AS-Zusatz von 1,0 % BS in der Klasse VK 35 ...45 noch als hoch einzuschätzen. Als am wirksamsten erwies sich der Zusatz des nitrithaltigen Siliermittels. Die mittleren BS-Gehalte lagen bei diesem Zusatz in allen VK-Klassen unter 0,3 % BS.

Aus Abbildung 50 für die Silagen aus *F.spec.* lassen sich ähnliche Ergebnisse zur Wirksamkeit der geprüften Zusätze ableiten. Die mittleren BS-Gehalte in den unbehandelten Silagen, die bereits im Vergleich zu den Kontrollvarianten von *D.glom.* in allen VK-Klassen deutlich niedriger waren, konnten durch MSB- und AS-Zusatz noch reduziert werden. Bei dieser Pflanzenart erwies sich jedoch der MSB-Zusatz als wirksamer. Die Unterschiede bezüglich der Höhe der BS-Gehalte war in den einzelnen VK-Klassen zwischen den Zusatzvariante gering. Mittlere Gehalte von 0,7 und 1,0 % BS bei VK > 45 mit MSB- und AS-Zusatz weisen auf eine unzureichende Wirksamkeit hin. Auch hier zeigte das nitrithaltige Siliermittel mit durchschnittlichen BS-Gehalten unter 0,3 % die beste Wirkung.

In Tabelle 29 wurde die relative Häufigkeit BS-haltiger Silagen ( $BS > 0,3 \%$  in TS) bei den verschiedenen Zusätzen und in den VK-Klassen vergleichend gegenübergestellt.

Aus Tabelle 29 geht hervor, daß sich zwar insgesamt der Anteil BS-haltiger Silagen bei beiden Pflanzenarten durch MSB- und AS-Zusatz in allen VK-Klassen gegenüber der Kontrolle verringert hat. Mit einer Häufigkeit von 71 bzw. 65 % bei MSB-Zusatz und 47 bzw. 50 % bei AS-Zusatz in der VK-Klasse > 45 ist aber dennoch ein hohes Fehlgärungsrisiko, insbesondere bei leicht vergärbarem Grünfutter, gegeben. Hervorzuheben ist weiterhin, daß bei Zusatz von MSB die Häufigkeit BS-haltiger Silagen in der VK-Klasse < 35 am geringsten war und erst mit steigender Vergärbarkeit angestiegen war.



Tabelle 29: Häufigkeit BS-haltiger Silagen aus nitratarmem Grünfutter (*D.glom.* und *F.spec.*) bei Zusatz verschiedener Siliermittel (1993-1996)

VK = TS(%) + 8 Z/PK	Anteil BS-haltiger Silagen (BS > 0,3 % TS) in %							
	Kontrolle		MSB		AS		Nitrit	
<i>D.glom.</i>	n	%	n	%	n	%	n	%
< 35	7	71	14	57	6	67	5	20
35 ... 45	13	92	26	81	13	62	8	0
> 45	15	100	28	71	15	47	12	25
<i>F.spec.</i>								
< 35	5	80	10	40	5	80	5	0
35... 45	11	73	22	55	11	45	8	0
> 45	19	100	37	65	16	50	13	31

Das nitrithaltige Siliermittel erwies sich besonders bei schwer und mittelschwer vergärbarem Grünfutter als sehr wirkungssicher. Bei VK > 45 waren die Silagen nicht mehr durchgehend BS-frei.

Sowohl aus dem Vergleich der Abbildungen 49 und 50 zu den mittleren BS-Gehalten als auch aus Tabelle 29 zur Häufigkeit BS-haltiger Silagen sind die Unterschiede zwischen beiden Pflanzenarten hinsichtlich des BS-Gehaltes der Silagen in Kontroll- und Zusatzvarianten erkennbar.

*Bei nitratarmem Grünfutter mit VK > 35 können durch Zusatz von MSB-Präparaten und Ameisensäure die BS-Gärung und Häufigkeit BS-haltiger Silagen eingeschränkt werden. Bei mittleren BS-Gehalten bis 1,1 bzw. 1,0 % und Anteilen von 55 – 81 % bzw. 45 – 62 % BS-haltiger Silagen ist dennoch ein hohes Risiko für die BS-Bildung gegeben. Durch nitrithaltige Siliermittel kann das Fehlgärungsrisiko, besonders bei schwer vergärbarem Grünfutter, deutlich minimiert werden.*

#### 4.2.4.5 Siliermittelwirkung auf die Gärqualität der Silagen aus Grünfutter mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz

Gegenstand der nachfolgend beschriebenen Untersuchungen war die Prüfung von Siliermitteln bei der Silierung von nitratarmem, clostridiensporenbelastetem Grünfutter im Vergleich zu sauber geerntetem Siliergut. Damit sollte die Frage beantwortet werden, ob der Kontaminationsgrad des Grünfutters mit Clostridiensporen bezüglich eines möglichen Siliermitteleinsatzes zusätzlich zu berücksichtigen ist.

Innerhalb des Untersuchungsprogramms der vierjährigen Versuche mit *D.glom.* und *F.spec.* wurden im Versuchsjahr 1995 die Silierversuche mit beiden Pflanzenarten jeweils mit sauber geerntetem und zusätzlich mit kontaminiertem Grünfutter durchgeführt. Die Unterschiede zwischen den chemischen Parametern des Grünfutters mit und ohne Clostridiensporenbesatz waren gering.

In den Laborsilierversuchen wurden die Siliermittel eingesetzt, die auch in den oben beschriebenen Versuchen verwendet wurden, d.h. Milchsäurebakterien (MSB A und B), Ameisensäure (AS) und ein nitrithaltiges Siliermittel (Nitrit).

Der Clostridiensporengehalt des Ausgangsmaterials lag zwischen  $2,4 \times 10^2$  und  $1,4 \times 10^4$  MPN/ g FM und hatte somit in allen 18 Versuchen mit *D.glom.* und *F.spec.* einen mittleren Gehalt von  $4,3 \times 10^3$  MPN/ g FM.

In Tabelle 30 sind die mittleren BS-Gehalte für beide Pflanzenarten nach VK-Klassen zusammengestellt. Hinsichtlich der Höhe der BS-Gehalte waren in den VK-Klassen zwischen den Pflanzenarten geringfügige Unterschiede vorhanden, die jedoch auf grund der geringen Anzahl n nicht zu verallgemeinern sind.

Nachfolgend werden die Ergebnisse für beide Pflanzenarten und beide MSB-Präparate zusammengefaßt.

Tabelle 30: Mittlerer Buttersäuregehalt ( $BS_{Ges.}$ ) in Silagen aus nitratarmem Grünfutter (*D.glom.* und *F.spec.*) bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz (1995)

		BS in % TS nach VK-Klassen					
		< 35		35 ... 45		> 45	
		n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$
<b>D.glom.</b>	Kontrolle	2	4,3	2	3,2	5	1,9
	MSB A	2	4,2	2	1,6	5	1,3
	MSB B	2	4,4	2	1,5	5	1,4
	AS	2	1,4	2	0,5	5	0,5
	Nitrit	2	0,6	2	0,1	5	0,3
<b>F.spec.</b>	Kontrolle	1	1,8	1	2,3	6	1,5
	MSB A	1	2,5	1	2,2	6	0,9
	MSB B	1	2,8	1	2,1	6	1,0
	AS	1	0,9	1	0,6	5	0,4
	Nitrit	1	0,4	1	0,4	6	0,4

Bei Clostridiensporenbelastung des Ausgangsmaterials kam es in allen VK-Klassen zu einer stärkeren BS-Bildung (siehe Abb.51) als im sauber geerntetem Grünfutter. Wie Abbildung 51 weiterhin zeigt, war der Effekt der Siliermittel zugleich weniger stark ausgeprägt.

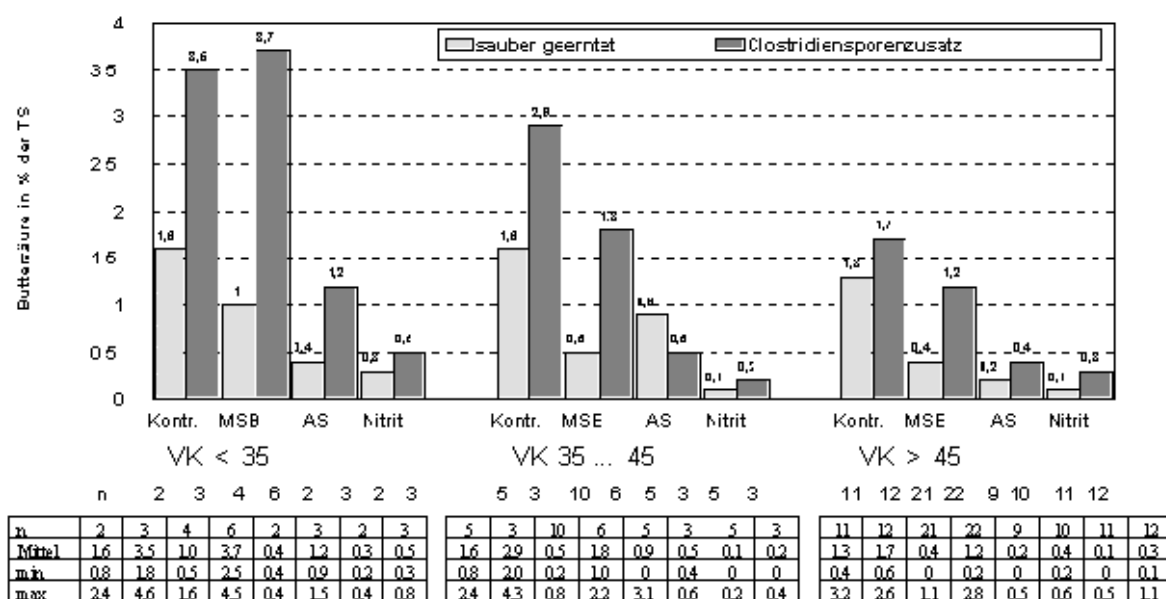


Abbildung 51: Buttersäuregehalt ( $BS_{Ges.}$ ) in Silagen aus nitratarmem Grünfutter (*D.glom.* und *F.spec.*) mit erhöhtem Clostridiensporengehalt bei Zusatz von Milchsäurebakterien (MSB), Ameisensäure (AS) und einem nitrithaltigen Siliermittel (Nitrit)

Mit zunehmender Verbesserung der Vergärbarkeit nahmen die mittleren BS-Gehalte in der Tendenz sowohl bei sauber geerntetem als auch bei Grünfutter mit Clostridiensporenzusatz in allen Zusatzvarianten ab.

Durch die MSB-Präparate konnte erst ab VK >35 bei kontaminierten Grünfutter BS-Gärung eingeschränkt werden. In der VK-Klasse > 45 betrug der mittlere BS-Gehalt bei MSB-Zusatz 1,2 %, wobei in einzelnen Varianten Buttersäure bis 2,8 % vorgelegen hatte.

Ameisensäure erwies sich als günstiger. Mit zunehmender Verbesserung der Vergärbarkeit konnte durch diesen Zusatz BS-Bildung im kontaminierten Grünfutter wirksamer unterdrückt werden. Ab VK > 35, d.h. bei mittelschwer und leicht vergärbarem Grünfutter, traten mit Ameisensäure nur noch geringe mittlere BS-Gehalte von 0,5 bzw. 0,4 % Buttersäure auf.

Das nitrithaltige Siliermittel zeigte auch bei Clostridiensporenbelastung die beste Wirkung in allen VK-Klassen. Bei VK > 35 lagen die durchschnittlichen BS-Gehalte bei max. 0,3 % BS d.TS. Bei leicht vergärbarem Ausgangsmaterial (VK > 45) traten jedoch vereinzelt Gehalte bis 1,1 % Buttersäure auf.

Für die Silagen aus beiden Pflanzenarten sind in Tabelle 31 die weiteren Merkmale des unerwünschten Stoffabbaues (Essigsäure, Alkohol und Ammoniak) bei Clostridiensporenzusatz zusammengestellt.

Tabelle 31: Essigsäure-, Ammoniak- und Alkoholgehalt der Silagen aus *D.glom.* und *F.spec.* bei Clostridiensporenzusatz ; Mittelwert und Spannweite (1995)

	VK < 35				VK 35 ... 45				VK > 45			
	Kontr.	MSB	AS	Nitrit	Kontr.	MSB	AS	Nitrit	Kontr.	MSB	AS	Nitrit
n	3	6	3	3	3	6	3	3	12	23	10	12
ES %TS	<b>1,0</b> 0,8...1,2	<b>1,0</b> 0,8...1,2	<b>0,6</b> 0,5...0,8	<b>1,4</b> 1,3...1,5	<b>1,0</b> 0,6...1,2	<b>1,2</b> 0,4...1,9	<b>0,6</b> 0,5...0,7	<b>1,2</b> 0,7...1,7	<b>0,9</b> 0,4...2,3	<b>0,6</b> 0,2...1,2	<b>0,6</b> 0,3...1,0	<b>1,4</b> 0,5...4,4
Alk. %TS	<b>0,5</b> 0,3...0,6	<b>0,4</b> 0,4...0,5	<b>0,2</b> 0,1...0,2	<b>0,2</b> 0,2...0,3	<b>0,6</b> 0,1...1,1	<b>0,9</b> 0,1...2,2	<b>0,2</b> 0...0,6	<b>0,2</b> 0,1...0,4	<b>0,4</b> 0,1...1,1	<b>0,2</b> 0,1...0,5	<b>0,1</b> 0...0,2	<b>0,3</b> 0,1...1,2
NH <sub>3</sub> - N %N <sub>ges.</sub>	<b>15,0</b> 12,5...18,5	<b>14,3</b> 12,6...17,5	<b>3,6</b> 3,0...4,4	<b>9,0</b> 8,6...9,5	<b>11,8</b> 5,0...17,1	<b>7,0</b> 4...10,3	<b>3,1</b> 1,5...4,0	<b>8,9</b> 6,6...10,3	<b>6,2</b> 3,0...12,5	<b>4,3</b> 2,2...9,7	<b>3,3</b> 2,1...4,5	<b>7,8</b> 4,8...13,6

Wie aus Tabelle 31 ersichtlich ist, lagen die mittleren ES-Gehalte mit Werten zwischen 0,6 und 1,4 % auf sehr niedrigem Niveau in allen Vergärbarkeitsstufen und Varianten. Mit nitrithaltigem Siliermittel traten in jeder VK-Klasse die höchsten Werte auf. Hier betrug der ES-Gehalt bei einer einzelnen Silage 4,4 %.

Die Alkoholgehalte waren mit mittleren Werten zwischen 0,1 und 0,9 % extrem niedrig.

Mittlere Ammoniakwerte deutlich über 10% NH<sub>3</sub>-N am Ges.-N traten nur bei VK < 35 in der Kontroll- und MSB- Variante auf. In allen VK-Klassen waren insbesondere die Ammoniakgehalte bei AS-Zusatz auffällig niedrig.

*Bei erhöhtem Kontaminationsgrad des Grünfutters mit Clostridiensporen war das Ausmaß der Buttersäuregärung in den Silagen sehr hoch. Es ist hierbei mit einer wesentlich geringeren Siliermittelwirkung zu rechnen. Als am wirksamsten erwies sich das nitrithaltige Siliermittel.*

#### 4.2.5 Beurteilung der Gärqualität von Silagen aus nitratarmem Grünfutter (nach DLG-Schlüssel)

Die Gärqualität der Silagen wird am Auftreten und an der Menge unerwünschter Stoffabbauprodukte gemessen. Aus den bisher beschriebenen Ergebnissen zum Gärungsverlauf und zur Gärqualität nach 180 Tagen Lagerungsdauer geht hervor, daß in Silagen aus nitratarmem Grünfutter ein grundsätzlich anderes Verhältnis von Buttersäure zu den übrigen Merkmalen des unerwünschten Stoffabbaues, d.h. Essigsäure, Ammoniak, pH- Wert, vorlag.

Der von der DLG empfohlene Beurteilungsschlüssel aus dem Jahr 1992 (WEIßBACH und HONIG) zur Einschätzung der Gärqualität bewertet die Merkmale Buttersäure, Essigsäure, Ammoniak sowie den pH-Wert in Beziehung zum TS-Gehalt zunächst einzeln und danach über ein Punktesystem zu einem Gesamtergebnis, um auf diese Weise möglichst alle Stufen der Gärqualität differenziert erfassen zu können. Der Beurteilungsschlüssel in seiner aktuellen Fassung von 1999 (WEIßBACH und HONIG) enthält zusätzlich zu den zuvor genannten Kriterien einen Punktabzug für ES-Gehalte < 2,0 % in TS, um die aerobe Stabilität bzw. Instabilität von Silagen zu berücksichtigen.

Anhand des vorliegenden Datenmaterials zu dieser Arbeit sollte geprüft werden, ob und inwieweit die Gärqualität von Silagen aus nitratarmem Grünfutter nach den genannten Beurteilungsschlüsseln zuverlässig eingeschätzt werden kann. Dazu wurden 342 Silagen ohne und mit Siliermittelzusatz von MSB-Präparaten und Ameisensäure aus *D.glom.* und *F.spec.* (vierjährig) bei geringem und erhöhtem Clostridiensporenbesatz nach beiden Beurteilungsschlüsseln bewertet. In dieser Gruppe wurden damit ausschließlich Silagen aus nitratarmem Grünfutter zusammengefaßt. 69 Silagen mit dem nitrithaltigen Siliermittel von Grünfutter ohne und mit Clostridiensporenzusatz wurden, getrennt von den anderen Zusatzvarianten, zum Vergleich ausgewertet.

### Beurteilung nach DLG, 1992

Von den 342 Silagen, die im folgenden nach DLG-Schlüssel bewertet wurden, waren nur 91 Silagen BS-frei ( $BS \leq 0,3 \%$  BS d. TS) mit ES-Gehalten bis max. 2,8 % und Ammoniak-Gehalten bis max. 11,5 %  $NH_3$ -N in Ges.-N.

Die verbleibenden 251 BS-haltigen Silagen enthielten höchstens 2,5 % ES. Von diesen 251 Silagen wurden in 211 Silagen (84 % der BS-haltigen Silagen) Ammoniakgehalte bis 10 %  $NH_3$ -N an Ges.-N. bei BS-Gehalten zwischen 0,3 und 3,5 % nachgewiesen. Die restlichen 40 Silagen mit Ammoniakwerten über 10 %  $NH_3$ -N an Ges.-N, d.h. 16 % der BS-haltigen Silagen, wiesen BS-Gehalte zwischen 0,8 und 6,4 % auf.

In Tabelle 32 sind die Merkmale der Gärqualität für die Silagen ohne und mit MSB- sowie AS-Zusatz (n= 342) nach Noten zusammengestellt. Für den pH-Wert wurde zusätzlich die in Bezug zum TS-Gehalt vergebene Punktzahl aufgeführt, wobei 25 Punkte die mögliche Höchstpunktzahl ist.

Wie aus den Angaben in Tabelle 32 hervorgeht, waren die Gehalte an Essigsäure und Ammoniak so niedrig, daß bei der Bewertung der Essigsäure durchgehend und bei Ammoniak nahezu durchgehend, bis auf Silagen der Note 5, die Höchstpunktzahl vergeben werden konnte.

Die Bewertung des pH-Wertes bei entsprechendem TS-Gehalt über pH/TS-Punkte erreichte zumindest bis Note 3 hohe mittlere Punktzahlen bzw. die Höchstpunktzahl von 25.

Bei Note 2 lagen jedoch bereits beachtliche, bei Note 3 teilweise sehr hohe BS-Gehalte bis 3,5 % vor. Die Gehalte an Essigsäure und Ammoniak waren demgegenüber, auch in der Note 4, nahezu ebenso gering wie bei den BS-freien Silagen mit Note 1.

Tabelle 32: Merkmale der Gärqualität nach Noten bei Bewertung nach DLG- Schlüssel 1992 (WEIßBACH und HONIG); Silagen ohne bzw. mit MSB, AS n=342

	<b>TS</b> g/kg	<b>pH</b>	<b>pH/TS</b> DLG-Punkte	<b>ES</b> %TS 1)	<b>BS</b> %TS 2)	<b>NH<sub>3</sub>-N</b> % Gesamt-N
<b>Note 1</b>						
<b>Mittel</b>	<b>299</b>	<b>4,1</b>	<b>25</b>	<b>0,9</b>	<b>0,2</b>	<b>4,0</b>
n = 113						
von...bis	195...551	3,5...4,9	20...25	0...2,8	0...0,4	0,5...11,5
<b>Note 2</b>						
<b>Mittel</b>	<b>330</b>	<b>4,1</b>	<b>25</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>	<b>4,7</b>
n = 103						
von...bis	203...551	3,6...5,1	15...25	0...2,5	0,3...1,4	0,9...9,2
<b>Note 3</b>						
<b>Mittel</b>	<b>312</b>	<b>4,3</b>	<b>22</b>	<b>0,8</b>	<b>1,8</b>	<b>6,9</b>
n = 90						
von...bis	203...527	3,8...5,3	0...25	0...2,3	0,6...3,5	2,3...18,1
<b>Note 4</b>						
<b>Mittel</b>	<b>296</b>	<b>4,8</b>	<b>11</b>	<b>1,0</b>	<b>2,8</b>	<b>11,8</b>
n = 20						
von...bis	207...527	4,4...6,1	. -30...20	0...2,1	0,4...4,8	5,7...15,8
<b>Note 5</b>						
<b>Mittel</b>	<b>271</b>	<b>5,0</b>	<b>2</b>	<b>1,2</b>	<b>4,1</b>	<b>19,4</b>
n = 16						
von...bis	209...474	4,7...5,5	. -5...10	0,6...2,0	1,5...6,4	13,6...30,6

1) ES = ES+PS

2) BS = n-BS+i-BS+n-VS+i-VS+CS

Die Einstufung der Silagen nach diesem Schlüssel erfolgte somit hauptsächlich aufgrund der BS-Gehalte. Die Werte für Essigsäure, Ammoniak-N an Gesamt-N und pH-Wert in Bezug zum TS-Gehalt waren meist so niedrig, daß sie für die differenzierende Bewertung der Gärqualität kaum wirksam wurden. Das hatte zur Folge, daß auch Silagen mit relativ hohen BS-Gehalten noch die Noten 2 oder 3 erzielen konnten.

Von den 69 Silagen mit nitrithaltigem Siliermittel waren 54 Silagen BS-frei und enthielten max. 2,3 % Essigsäure bzw. 13,7 % Ammoniak-N in Ges.-N. Die restlichen 15 Silagen enthielten Buttersäure zwischen 0,3 und 1,1 % BS. Hier traten vereinzelt höhere ES-Gehalte auf, bis 4,0 %. Die Ammoniak-N-Werte betrugen höchstens 14,8 % in Ges.-N.

Im Vergleich zu den oben ausgewerteten Silagen waren mit dem nitrithaltigen Siliermittel sowohl die mittleren, als auch einzelne BS-Gehalte (siehe Tab.33) in den Noten 2 und 3 deutlich geringer. Die Anzahl n der bewerteten Silagen war zwar kleiner, aber Tendenzen sind trotzdem erkennbar.

Essigsäure- und Ammoniak-Gehalte waren ebenfalls niedrig und nur in Einzelfällen etwas höher, so daß auch hier meistens für beide Merkmale die Höchstpunktzahl vergeben wurde.

Die Punktzahlen für das pH/TS -Verhältnis lagen bis zur Note 3 im Mittel niedriger als bei den Silagen ohne nitrithaltiges Siliermittel (Tab. 32), so daß dadurch eine differenzierende Einstufung in die Noten 2 und 3 vorgenommen wurde.

Tabelle 33: Merkmale der Gärqualität nach Noten bei Bewertung nach DLG- Schlüssel 1992 (WEIßBACH und HONIG); Silagen mit nitrithaltigem Siliermittel n=69

	<b>TS</b> g/kg	<b>pH</b>	<b>pH/TS</b> DLG-Punkte	<b>ES</b> %TS 1)	<b>BS</b> %TS 2)	<b>NH<sub>3</sub>-N</b> % Gesamt-N
<b>Note 1</b>						
<b>Mittel</b>	<b>284</b>	<b>4,3</b>	<b>24</b>	<b>1,3</b>	<b>0,1</b>	<b>8,8</b>
n = 33						
von...bis	203...551	4,0...4,7	20...25	0,5...2,4	0...0,4	4,3...13,7
<b>Note 2</b>						
<b>Mittel</b>	<b>343</b>	<b>4,7</b>	<b>16</b>	<b>1,1</b>	<b>0,2</b>	<b>9,0</b>
n = 29						
von...bis	195...527	4,1...5,4	-10...25	0,5...3,3	0...0,9	6,0...14,5
<b>Note 3</b>						
<b>Mittel</b>	<b>400</b>	<b>5,2</b>	<b>-1</b>	<b>1,2</b>	<b>0,4</b>	<b>8,1</b>
n = 6						
von...bis	283...457	4,2...5,6	-15 ... 25	0,4...4,4	0...1,1	4,8...14,8
<b>Note 4</b>						
<b>Mittel</b>	<b>332</b>	<b>5,3</b>	<b>-5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>	<b>8,8</b>
n = 1						
von...bis						
<b>Note 5</b>						
<b>Mittel</b>						
n = 0						
von...bis						

1) ES = ES+PS

2) BS = n-BS+i-BS+n-VS+i-VS+CS

### Beurteilung nach DLG 1999

Bei der Bewertung der Gärqualität nach dem überarbeiteten Schlüssel von 1999, bei dem ein Punktabzug für ES-Gehalte < 2,0 % vorgenommen wird, trat eine beträchtliche Verschiebung der Bewertung hin zu schlechteren Noten ein, wie Tabelle 34 ausweist.

Wurden nach dem Schlüssel 1992 etwa 66 % der Silagen in Note 1 und 2 sowie 11% der Silagen in Note 4 und 5 eingestuft, sind es nach dem Schlüssel von 1999 nur noch 43 % in Note 1 und 2, aber 25 % in Note 4 und 5. Die in der Tendenz zu gute Bewertung nach dem Schlüssel 1992 konnte damit abgeschwächt werden.

Bereits ab der Note 3 traten aber deutlich höhere BS-Gehalte, vergleichbar mit Note 3 des Schlüssels 1992, auf. In Einzelfällen waren hier Silagen mit BS-Gehalten bis 3,5 % BS vorhanden, die somit auch zu gut bewertet wurden. Die BS-Gehalte in den Silagen mit Note 1 und 2 sind zwar auf geringerem Niveau im Vergleich zum vorherigen Schlüssel. Ammoniak-N und pH-Wert wurden jedoch für die differenzierende Beurteilung der Gärqualität noch weniger wirksam als nach dem Schlüssel von 1992. Die Abwertung aufgrund niedriger ES-Gehalte erstreckte sich über alle Noten.

Tabelle 34: Merkmale der Gärqualität nach Noten bei Bewertung nach DLG-Schlüssel 1999 (WEIß-BACH und HONIG); Silagen ohne bzw. mit MSB, AS  
n = 342

	<b>TS</b> g/kg	<b>pH</b>	<b>pH/TS</b> DLG-Punkte	<b>ES</b> % TS 1)	<b>BS</b> % TS 2)	<b>NH<sub>3</sub>-N</b> % Gesamt-N	<b>Note</b> DLG 1992
<b>Note 1</b>							
<b>Mittel</b>	<b>223</b>	<b>4,0</b>	<b>25</b>	<b>1,7</b>	<b>0,1</b>	<b>6,3</b>	<b>1,1</b>
n = 17							
von...bis	195...259	3,9...4,1	25...25	1,5...2,8	0...0,4	2,5...11,5	1...2
<b>Note 2</b>							
<b>Mittel</b>	<b>299</b>	<b>4,1</b>	<b>25</b>	<b>0,9</b>	<b>0,3</b>	<b>3,9</b>	<b>1,3</b>
n = 129							
von...bis	195...551	3,5...4,9	20...25	0...2,5	0...0,8	0,5...11,5	1...2
<b>Note 3</b>							
<b>Mittel</b>	<b>336</b>	<b>4,2</b>	<b>24</b>	<b>0,8</b>	<b>1,2</b>	<b>5,2</b>	<b>2,4</b>
n = 111							
von...bis	203...551	3,6...5,1	5...25	0...2,3	0,3...3,5	1,5...10,9	2...3
<b>Note 4</b>							
<b>Mittel</b>	<b>319</b>	<b>4,5</b>	<b>20</b>	<b>0,7</b>	<b>2,0</b>	<b>8,3</b>	<b>3,2</b>
n = 58							
von...bis	207...527	3,9...5,3	0...25	0...2,1	0,6...4,8	2,7...18,1	3...4
<b>Note 5</b>							
<b>Mittel</b>	<b>298</b>	<b>5,0</b>	<b>5</b>	<b>1,1</b>	<b>3,5</b>	<b>16,0</b>	<b>4,6</b>
n = 27							
von...bis	207...527	4,5...6,1	.-30...20	0...2,0	0,4...6,4	5,7...30,6	3...5

1) ES = ES+PS 2) BS = n-BS+i-BS+n-VS+i-VS+CS

Bei den Silagen mit nitrithaltigem Siliermittel (s.Tab. 35) erfolgte ebenfalls eine Verschiebung zu schlechteren Noten. Vor allem erhielten ein Teil der nach dem Schlüssel von 1992 eingestuft Silagen mit Note 1 nach dem Schlüssel 1999 nun die Note 2.

Nach dem Schlüssel von 1992 wurden 90 % der Silagen in die Noten 1 und 2 eingestuft, dagegen bei Schlüssel 1999 nur noch 75 %. In der Note 3 waren die Hälfte der Silagen, in der Note 4 alle bis auf eine der Silagen BS-frei mit ES-Werten < 2 %.

Das ist besonders beachtenswert, da Silagen mit Gehalten  $\leq 0,3$  % BS und < 2,0 % ES als sehr gut konserviert gelten.

Die Herabstufung in diese schlechten Noten erfolgte im Vergleich zum Schlüssel 1992 nur aufgrund der niedrigen ES-Gehalte.

Tabelle 35: Merkmale der Gärqualität nach Noten bei Bewertung nach DLG-Schlüssel 1999 (WEIßBACH und HONIG); Silagen mit nitrithaltigem Siliermittel n = 69

	<b>TS</b> g/kg	<b>pH</b>	<b>pH/TS</b> DLG-Punkte	<b>ES</b> %TS 1)	<b>BS</b> %TS 2)	<b>NH<sub>3</sub>-N</b> % Gesamt-N	<b>Note</b> DLG1992
<b>Note 1</b>							
<b>Mittel</b> n = 10	<b>251</b>	<b>4,1</b>	<b>25</b>	<b>1,8</b>	<b>0,1</b>	<b>9,6</b>	<b>1,0</b>
von...bis	220...303	4,0...4,3	25...25	1,5...2,4	0...0,3	8,0...11,9	1...1
<b>Note 2</b>							
<b>Mittel</b> n = 42	<b>312</b>	<b>4,5</b>	<b>20</b>	<b>1,1</b>	<b>0,1</b>	<b>8,8</b>	<b>1,5</b>
von...bis	195...551	4,0...5,4	10...25	0,5...3,3	0...0,7	4,3...14,5	1...2
<b>Note 3</b>							
<b>Mittel</b> n = 12	<b>366</b>	<b>4,7</b>	<b>15</b>	<b>1,2</b>	<b>0,4</b>	<b>9,2</b>	<b>2,2</b>
von...bis	211...527	4,1...5,2	10...25	0,5...4,4	0...1,1	6,0...14,8	2...3
<b>Note 4</b>							
<b>Mittel</b> n = 5	<b>407</b>	<b>5,5</b>	<b>-9</b>	<b>0,5</b>	<b>0,3</b>	<b>6,5</b>	<b>3,2</b>
von...bis	332...457	5,3...5,6	15...-5	0,4...0,6	0...0,8	4,8...8,8	3...4
<b>Note 5</b>							
<b>Mittel</b> n = 0							
von...bis							

1) ES = ES+PS

2) BS = n-BS+i-BS+n-VS+i-VS+CS

Für Silagen aus nitratarmem Grünfutter besteht nach den vorliegenden Ergebnissen das Risiko, daß sie mit dem DLG-Beurteilungsschlüssel 1992 zu gut bewertet werden. Mit der Einführung des Punktabzuges für niedrige ES-Gehalte im Schlüssel von 1999 wird die in der Tendenz zu gute Bewertung von Silagen aus nitratarmem Grünfutter zwar abgeschwächt, aber keineswegs aufgehoben. Desweiteren treten andere Fehlbewertungen auf.

#### 4.3 Untersuchungen zur Vergärbarkeit von nitratarmem Grünfutter

Nach bisherigem Kenntnisstand wird das in Abhängigkeit vom Gärungsverlauf entstandene Gärproduktmuster nicht nur vom Nitratgehalt, sondern auch von den übrigen Merkmalen der Vergärbarkeit, d.h. TS-Gehalt und Z/PK-Quotient, bestimmt.

In den nachfolgend beschriebenen Untersuchungen sollte der Frage nachgegangen werden, wie sich die chemischen Parameter zur Kennzeichnung des Ausgangsmaterials zur Silierung bei verschiedenen Aufwüchsen und Pflanzenarten verändern. Weiterhin wurde die Vergärbarkeit des Grünfutters im Zusammenhang mit Epiphytenbesatz und Clostridiensporengehalt des Siliergutes untersucht.

Die Untersuchungen wurden mit dem Ausgangsmaterial der Silierversuche zur Gärqualität der Silagen aus nitratarmem Grünfutter (beschrieben in Kap. 4.2), d.h. mit unterschiedlichen Grasarten von zwei Standorten, durchgeführt.

Die Bestände waren einem Schnittregime unterworfen, daß sowohl eine futterbaulich orientierte Nutzung, als auch unterschiedliche Stufen einer extensiven Nutzung repräsentiert.



Das dabei gewonnene Grünfutter wurde auf seine chemischen Parameter zur Kennzeichnung der Vergärbarkeit (TS, Z/PK, Nitratgehalt) und ergänzend auf Rohfaser- und Rohproteingehalt untersucht. Zusätzlich wurde der Clostridiensporengehalt des Grünfutters ab 1995, der natürliche Laktobakterienbesatz ab 1996 analytisch ermittelt.

#### 4.3.1 Versuche mit *Dactylis glomerata* und *Festuca species* (vierjährig)

Für die Auswertung standen vierjährige Versuche mit *Dactylis glomerata* (Knautgras) und *Festuca species* (Schwingelarten) vom Standort Berge zur Verfügung. Das Nutzungsregime umfaßte für beide Pflanzenarten je eine Variante der 3-Schnitt-Nutzung und 3 Varianten der 2-Schnitt-Nutzung.

##### 4.3.1.1 Chemische Zusammensetzung des Grünfutters

Zunächst werden die Pflanzenbestände aus den unterschiedlichen Nutzungsvarianten mit Hilfe der Parameter Rohfaser(RFa)- und Rohprotein(RP)-Gehalt genauer charakterisiert. Daran anschließend werden die Ergebnisse bezüglich der chemischen Parameter für die Einschätzung der Vergärbarkeit erläutert. Trotz annähernd gleicher Schnitttermine bestanden zwischen den einzelnen Versuchsjahren z.T. erhebliche Unterschiede in der Zusammensetzung des Grünfutters, so daß die jeweiligen Analysendaten für die Versuchsjahre getrennt aufgeführt und besprochen werden. Das Grünfutter war mit Werten < 0,5 g Nitrat / kg TS durchgehend nitratfrei.

##### 4.3.1.1.1 Rohfasergehalt und Rohproteingehalt des Grünfutters

In Abbildung 52 sind die RFa-Gehalte von *D.glom.* und *F.spec.* aus allen vier Versuchsjahren und Aufwüchsen unterschiedlicher Nutzungsintensität dargestellt.

Die RFa-Gehalte lagen bei *D.glom.* erwartungsgemäß etwas höher als bei den *F.spec.* Sowohl bei *D.glom.* als auch bei *F.spec.* waren aber die Gehalte der ersten Aufwüchse in nahezu allen Versuchsjahren und Nutzungsvarianten mit Werten, die zum Teil weit über 300 g / kg TS lagen, höher als die der Folgeaufwüchse, die meist Werte unterhalb von 300 g /kg aufwiesen. Beim Vergleich der verschiedenen 2- Schnitt- Nutzungen hinsichtlich der RFa-Gehalte des jeweils ersten Aufwuchses ist festzustellen, daß trotz starker Schnittverzögerung die Unterschiede bei beiden Pflanzenarten zwischen den einzelnen Varianten relativ gering waren. Das dürfte darauf zurückzuführen sein, daß in den, mit Schnittverzögerung bis Mitte Juli, stark überständigen Aufwüchsen ein erheblicher Unterwuchs von frischen, blattreichen Neutrieben zu verzeichnen war.

Hinsichtlich der RFa-Gehalte war bei der 3-Schnitt-Nutzungsvariante der optimale Schnittzeitpunkt zum ersten Aufwuchs bereits überschritten. Die Folgeschnitte waren hier günstiger zu beurteilen.

Insgesamt bestanden bei den RFa-Gehalten der einzelnen Aufwüchse und Nutzungsvarianten zwischen den Versuchsjahren Unterschiede. Dabei wies insbesondere das Jahr 1996 bei allen Aufwüchsen der verschiedenen Nutzungsvarianten durchweg niedrigere Gehalte im Vergleich zu den drei anderen Versuchsjahren auf.

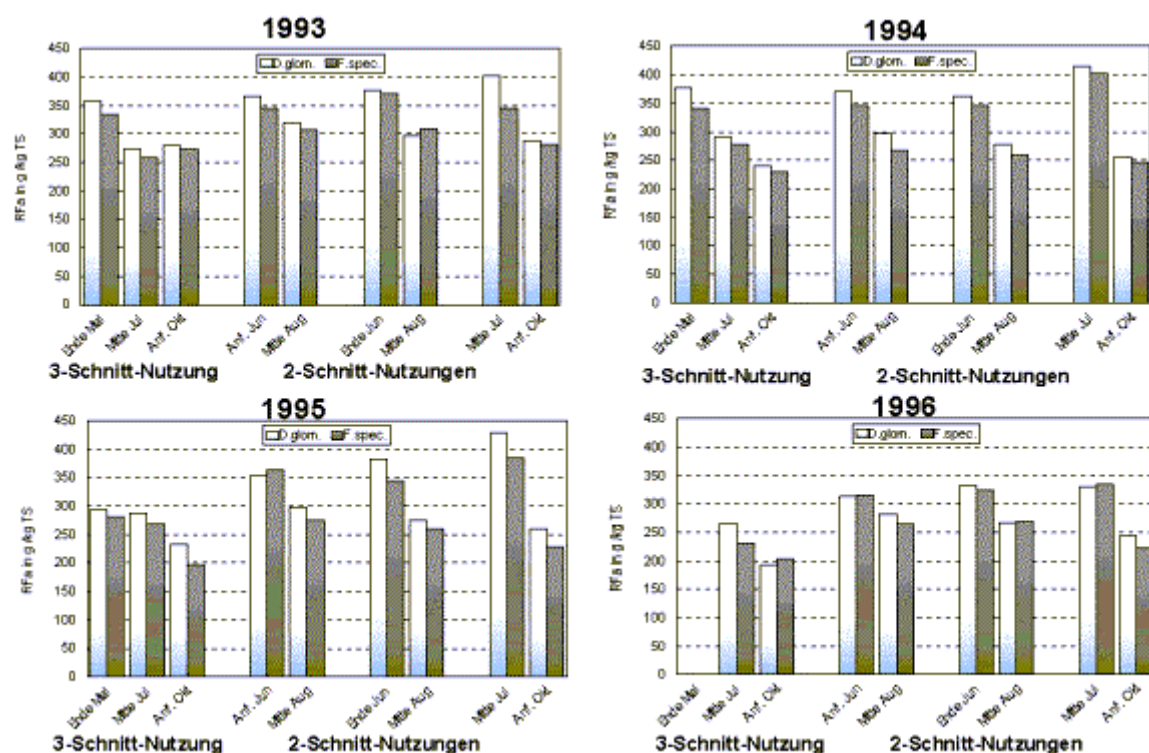


Abbildung 52: Rohfasergehalt im Grünfutter (*Dactylis glomerata* und *Festuca species*) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität; 1993-1996

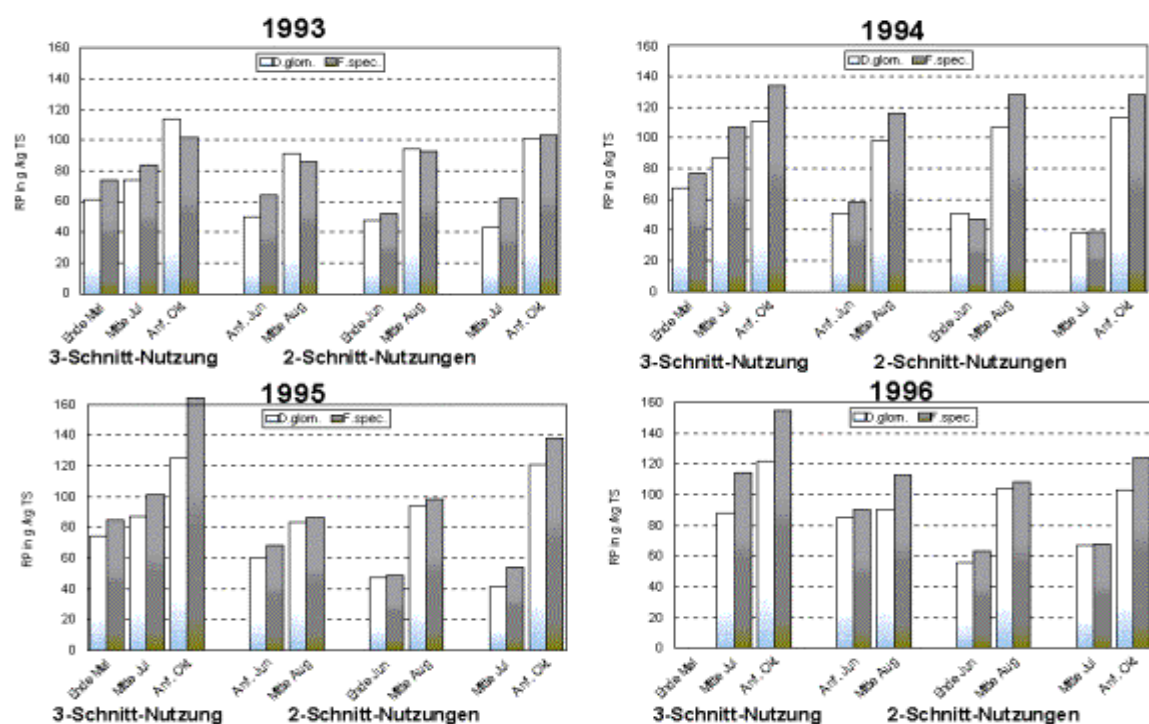


Abbildung 53: Rohproteingehalt im Grünfutter (*Dactylis glomerata* und *Festuca species*) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität; 1993-1996

Aus Abbildung 53 zu den RP-Gehalten ist erkennbar, daß *F.spec.* nur geringfügig höhere RP-Gehalte aufwiesen als *D.glom.*. In allen Versuchsjahren und bei beiden Pflanzenarten stiegen die RP-Gehalte vom ersten bis zum dritten Aufwuchs bei der 3-Schnitt-Nutzung und vom ersten bis zum zweiten Aufwuchs der jeweiligen 2-Schnitt-Nutzung deutlich an. Die ersten Aufwüchse, insbesondere die der 2-Schnitt-Nutzungen, wiesen jedoch in allen Versuchsjahren extrem niedrige Werte, die meist unterhalb von 60 g/ kg TS lagen, auf. Insgesamt ist das Niveau der Rohproteingehalte als niedrig zu bezeichnen.

#### 4.3.1.1.2 Trockensubstanzgehalt

In Abbildung 54 sind die TS-Gehalte des Grünfutters aus allen Nutzungsvarianten von vier Versuchsjahren dargestellt. Die Unterschiede in der Höhe der TS-Gehalte zwischen beiden Pflanzenarten zu den jeweiligen Schnittzeitpunkten der Aufwüchse waren gering, jedoch wiesen die *F.spec.* meist etwas höhere Werte als *D.glom.* auf. Insgesamt bestanden zwischen den Jahren 1993 bis 1996 erhebliche Unterschiede in den TS-Werten zu annähernd gleichen Schnittterminen eines Aufwuchses und einer Nutzungsvariante. In allen Versuchsjahren gab es Aufwüchse, die mit TS-Gehalten des Grünfutters über 30 % bis ca. 50 % sehr hohe Werte aufwiesen.

In Abbildung 55 sind die TS-Gehalte der jeweils ersten Aufwüchse 1993 bis 1996 von *D.glom.* und *F.spec.* zum Vergleich dargestellt. Deutlich sind bei beiden Pflanzenarten die Unterschiede zwischen den Versuchsjahren, bei z.T. sehr hohen TS-Gehalten, zu erkennen.

Zum nahezu optimalen Schnittzeitpunkt des ersten Aufwuchses, Ende Mai, lagen die TS-Gehalte in allen Versuchsjahren und bei beiden Pflanzenarten zwischen 20 und 30 % (siehe Abb. 55). Bei Schnittverzögerung des ersten Aufwuchses stiegen die TS-Gehalte sehr stark an.

1993 wiesen die TS-Gehalte bei *D.glom.* und *F.spec.* bereits Ende Juni Werte über 35 % auf. Die TS-Gehalte waren dann aber zum Spätschnitt Mitte Juli deutlich niedriger. Diese im Verhältnis sehr niedrigen Werte des Spätschnittes sind höchstwahrscheinlich auf die Zunahme des Unterwuchses von frischen, blattreichen Neutrieben im ansonsten stark überständigen Bestand, forciert durch extrem hohe Niederschlagsmengen im Juni des Jahres 1993, zurückzuführen.

Besonders auffallend sind die zum Teil sehr hohen TS-Gehalte, zwischen 40 und 50 %, der ersten Aufwüchse der späten 2-Schnitt-Nutzungen Ende Juni und Mitte Juli in den Jahren 1994 und 1995. Diese hohen TS-Gehalte sind höchstwahrscheinlich infolge der sehr trockenen und warmen Witterung in diesen Versuchsjahren entstanden. Beide Versuchsjahre 1994 und 1995 wiesen insgesamt nur geringe Unterschiede hinsichtlich der Witterungsverhältnisse (siehe Abb.1 im Anhang) auf. In den Sommermonaten Juni bis September waren in beiden Jahren die durchschnittlichen Tagestemperaturen sehr hoch und lagen damit weit über dem langjährigen Mittel.

Im Gegensatz zu diesen überdurchschnittlich warmen Sommern waren in den Jahren 1993 und 1996 die Sommertemperaturen deutlich niedriger und untereinander ebenfalls vergleichbar. Die durchschnittlichen Tagestemperaturen entsprachen in diesen beiden Jahren weitgehend dem Verlauf der Temperatur des langjährigen Mittels.

Abbildung 55 zeigt, daß die Unterschiede in Abhängigkeit vom Vegetationsverlauf innerhalb eines Jahres sehr deutlich und stärker als zwischen den Pflanzenarten ausgeprägt waren.

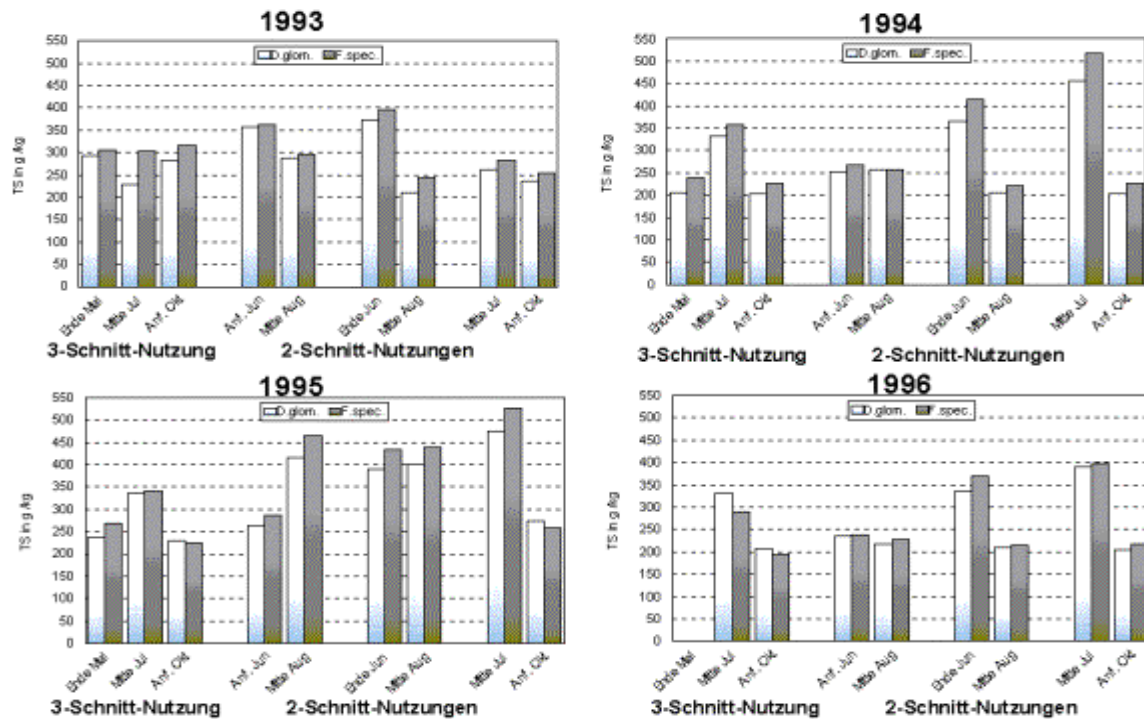


Abbildung 54: Trockensubstanzgehalt im Grünfutter ( *Dactylis glomerata* und *Festuca species*) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität; 1993-1996

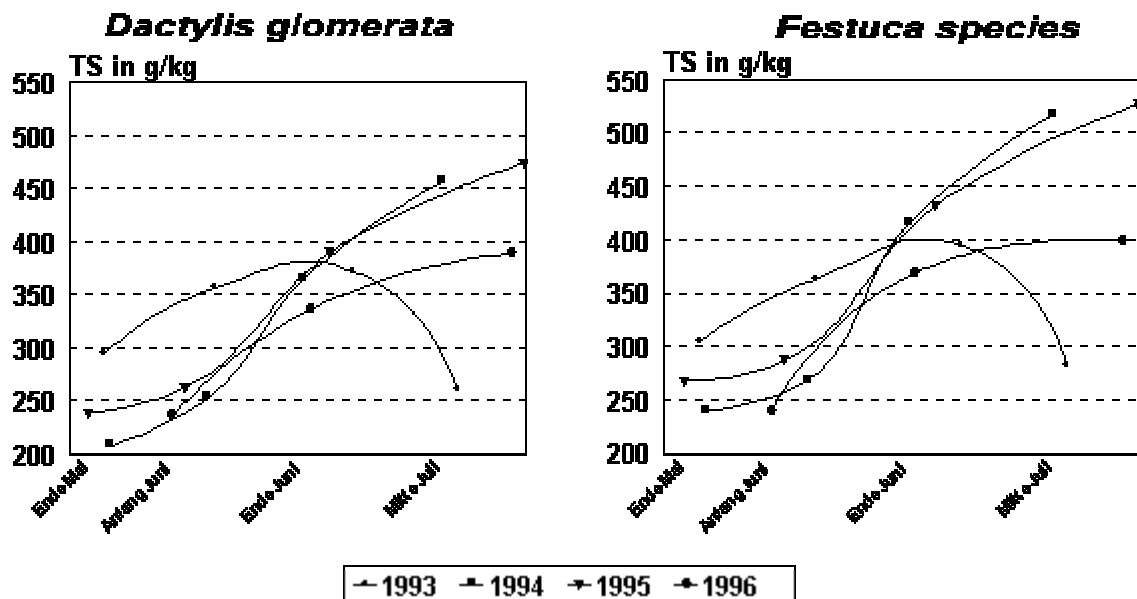


Abbildung 55: Trockensubstanz(TS)-Gehalte der 1. Aufwüchse aller Nutzungsvarianten von *D.glom.* und *F. spec.* (1993 – 1996)

Auch die TS-Gehalte der 2. und 3. Aufwüchse zeigten bei beiden Pflanzenarten Unterschiede zwischen den Versuchsjahren (vergl. Abb. 54). Da die Aufwuchsdauer bei den verschiedenen 2-Schnitt-Nutzungen innerhalb eines Jahres unterschiedlich war, sind gerichtete Tendenzen bei den zweiten Aufwüchsen bezüglich der Höhe der TS-Gehalte nicht abzuleiten. Die TS-Gehalte lagen aber hier sowie bei den dritten Aufwüchsen bis auf wenige Ausnahmen unter 30 %.

#### 4.3.1.1.3 Wasserlösliche Kohlenhydrate und Pufferkapazität

Wie aus Abbildung 56 zum Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten (WLKH, Z) der Aufwüchse 1993 - 1996 hervorgeht, können die Werte aus den einzelnen Jahren auch hinsichtlich der WLKH-Gehalte untereinander nicht verglichen werden.

Die zwischen den Versuchsjahren zu annähernd gleichen Schnittterminen erkennbaren z.T. starken Schwankungen stehen offensichtlich mit Vegetationsverlauf und Witterung im Zusammenhang.

Bemerkenswert sind die zwischen den Pflanzenarten nachgewiesenen Unterschiede in der Höhe der Zuckergehalte. Die *F.spec.* waren in allen Aufwüchsen des Jahres 1993 zuckerreicher als *D.glom.*. In den nachfolgenden Jahren bestätigte sich diese Tendenz, wenn auch die Festuca-Arten nicht mehr durchgängig zuckerreicher waren.

Bei Schnittverzögerung des ersten Aufwuchses sanken die Gehalte an wasserlöslichen Kohlenhydraten bei beiden Pflanzenarten, außer 1994, in der Tendenz ab. Im Versuchsjahr 1994 wiesen die ersten Aufwüchse zum Schnittzeitpunkt Anfang bzw. Ende Juni aus den 2-Schnitt-Nutzungen dagegen sehr hohe WLKH- Gehalte auf.

Die Folgeaufwüchse der jeweiligen Nutzungsvariante waren, wenn auch nicht durchgängig, jedoch meist zuckerärmer als die jeweils ersten Aufwüchse.

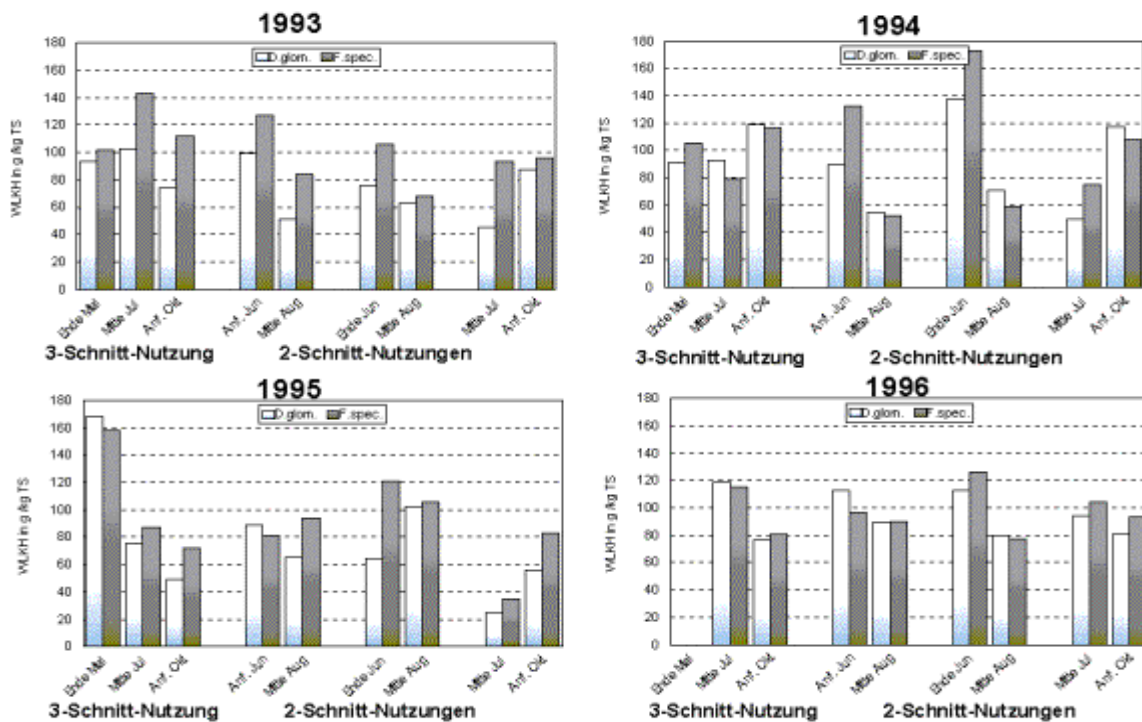


Abbildung 56: Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten im Grünfutter (*Dactylis glomerata* und *Festuca species*) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität; 1993-1996

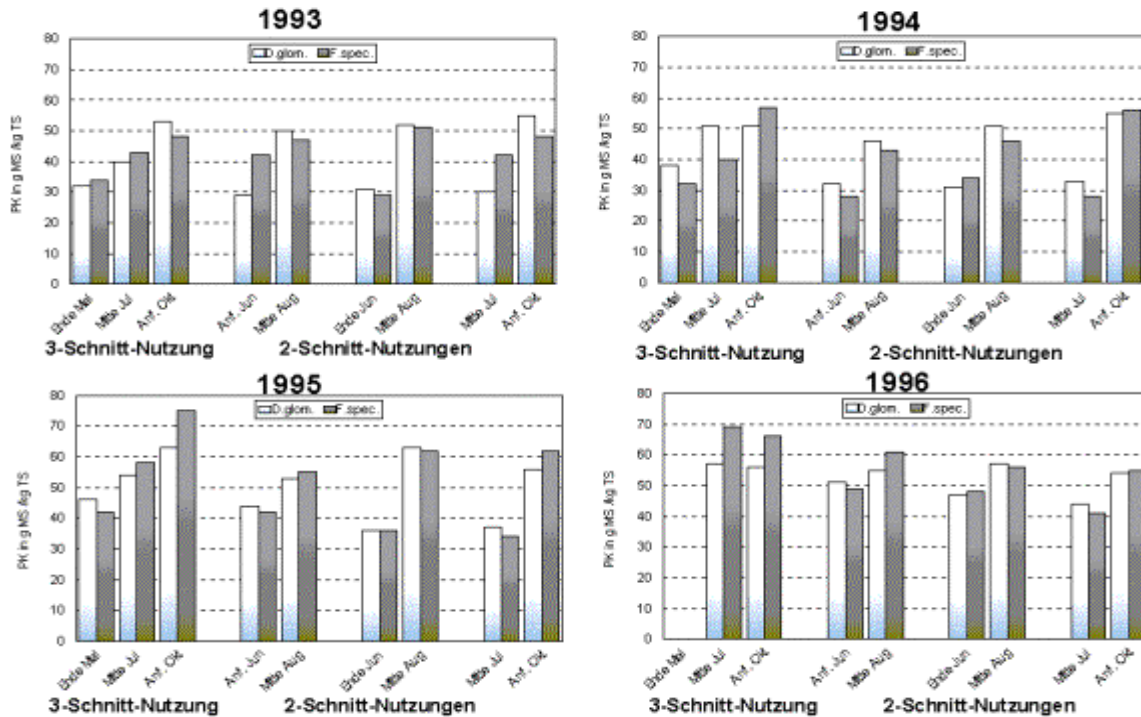


Abbildung 57: Pufferkapazität im Grünfutter (*Dactylis glomerata* und *Festuca species*) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität; 1993-1996

Beim Vergleich der in Abbildung 57 dargestellten Pufferkapazität (PK) des Grünfutters aus den Jahren 1993-1996 ist erkennbar, daß auch bei diesem Parameter der Vergärbarkeit zwischen den einzelnen Versuchsjahren bei allen Aufwüchsen und Pflanzenarten Unterschiede ausgeprägt waren.

Bemerkenswert ist, daß sich die Versuchsjahre 1993 und 1994 bezüglich der Höhe der PK-Werte bei allen Aufwüchsen sehr stark ähneln. Das Niveau der PK-Werte, die zwischen 28 und 56 lagen, war 1993 und 1994 aber insgesamt deutlich niedriger als das der PK-Werte in den nachfolgenden beiden Jahren 1995 und 1996 mit Werten zwischen 34 und 75.

Zwischen den Pflanzenarten bestanden in allen Versuchsjahren keine entscheidenden Unterschiede in der Höhe der PK-Werte.

Unabhängig von der Nutzungsvariante wiesen die jeweils ersten Aufwüchse in allen vier Jahren deutlich niedrigere PK-Werte auf als die entsprechenden Folgeschnitte. Damit waren bei den PK-Werten ähnlich gerichtete Tendenzen festzustellen, wie sie bereits bei den RP-Gehalten in Abhängigkeit vom Aufwuchs beschrieben wurden. Es ist anzunehmen, daß diese sehr niedrigen PK-Werte mit den sehr niedrigen Rohproteingehalten zum ersten Aufwuchs im Zusammenhang stehen.

Weiterhin ist festzustellen, daß die Variabilität in der Höhe der PK-Werte des Grünfutters bei Schnittverzögerung innerhalb eines Versuchsjahres sowohl bei den ersten als auch bei den zweiten Aufwüchsen äußerst gering war.

Als Maß für das biologische Säuerungspotential wird der Z/PK-Quotient berechnet und zur Einschätzung der Vergärbarkeit herangezogen.

In Tabelle 36 sind die Z/PK-Quotienten des Grünfutters mit der Spannweite für die Werte der einzelnen Aufwüchse aus allen vier Versuchsjahren angegeben. An dieser Stelle wird auf die Auswertung nach einzelnen Versuchsjahren verzichtet. Die Tendenzen bezüglich Höhe der Z/PK-Quotienten in Abhängigkeit von Pflanzenart und Aufwuchs werden auch so deutlich erkennbar und entsprechen im wesentlichen den Ergebnissen zu den Gehalten an WLKH und zur Pufferkapazität.



Tabelle 36: Z/PK- Quotienten des Grünfutters (*D.glom.* und *F.Spec.*), 1993 - 1996 (Spannweite)

Nutzung	Aufwuchs	Schnitt	Z/ PK- Quotient	
			<i>D.glom.</i>	<i>F.spec.</i>
3-Schnitt	1.	Ende Mai	2,4 ... 3,5	3,0 ... 3,8
	2.	Mitte Juli	1,4 ... 2,6	1,5 ... 3,3
	3.	Anf. Oktober	0,8 ... 2,3	1,0 ... 2,4
2- Schnitt	1.	Anf. Juni	2,0 ... 3,4	1,9 ... 4,6
	2.	Mitte August	1,0 ... 1,6	1,2 ... 1,8
	1.	Ende Juni	1,8 ... 4,4	2,6 ... 5,1
	2.	Mitte August	1,2 ... 1,6	1,3 ... 1,7
	1.	Mitte Juli	0,6 ... 2,1	1,1 ... 2,7
	2.	Anf. Oktober	1,0 ... 2,1	1,3 ... 2,0

Die *F.spec* hatten bei allen Aufwüchsen höhere Z/PK-Quotienten aufgrund höherer Zuckergehalte. Nahezu alle unteren und oberen Werte der in Tabelle 36 aufgeführten Spannweite lagen über den Werten für *D.glom.*

Da die ersten Aufwüchse aller Pflanzenarten zuckerreicher bei niedrigerer Pufferkapazität waren, sind auch die Z/PK-Werte der jeweils ersten Aufwüchse bei beiden Pflanzenarten höher gegenüber den jeweiligen Folgeaufwüchsen.

Bei Schnittverzögerung des ersten Aufwuchses verringerte sich der Z/PK-Wert entsprechend der abnehmenden WLKH-Gehalte.

*Zusammenfassend ist festzustellen, daß das verwendete Grünfutter D.glom. und F.spec., gemessen an Rohfaser, Rohprotein und TS-Gehalt, sehr unterschiedliche Formen der Nutzungsintensität repräsentiert. Aufgrund der sehr geringen Nitratgehalte wurde das Grünfutter als nitratfrei eingestuft. Die TS-Gehalte der ersten Aufwüchse wiesen bei beiden Pflanzenarten z.T. sehr hohe Werte bis ca. 40 bzw. 50 % auf. Bei den zweiten Aufwüchsen lagen sie nahezu alle unter 30 %. Im Vergleich waren F.spec in den einzelnen Aufwüchsen zuckerreicher als D.glom. und die ersten Aufwüchse zuckerreicher als die Folgeaufwüchse. Die Pufferkapazität variierte innerhalb eines Jahres und zwischen den Futterpflanzen kaum.*

#### 4.3.1.2 Einschätzung der Vergärbarkeit

In Abbildung 58 ist die Vergärbarkeit nach Vergärbarkeitskoeffizient (VK) jeweils beider Pflanzenarten für die ersten Aufwüchse, in Abbildung 59 für die zweiten Aufwüchse dargestellt. Dabei wurde für je einen Schnittzeitpunkt die nach VK berechnete Vergärbarkeit aller vier Versuchsjahre vergleichend nebeneinander gestellt.

Die ersten Aufwüchse (Abb. 58) beider Pflanzenarten waren in allen Versuchsjahren aufgrund des starken Anstiegs der TS-Gehalte mit Schnittverzögerung überwiegend der VK-Klasse > 45 zuzuordnen. Diese Aufwüchse wurden damit als leicht vergärbar eingeschätzt.

Ungeachtet des deutlich erkennbaren unterschiedlichen Niveaus der VK-Werte aus den vier Versuchsjahren zu jeweils einem Schnittzeitpunkt bestanden bezüglich der Vergärbarkeit gerichtete Unterschiede zwischen den Pflanzenarten. Die *F.spec.* hatten gegenüber *D.glom.* insgesamt höhere VK-Werte, auch oberhalb von VK 45, aufgrund deutlich höherer Zuckergehalte und geringfügig höherer TS-Gehalte.

Die zweiten Aufwüchse (Abb. 59) wurden aufgrund der TS-Gehalte unter 30 % überwiegend in die VK-Klasse < 45, d.h. mittelschwer und schwer vergärbare Grünfutter, eingeordnet.

Die Unterschiede zwischen den Pflanzenarten waren hier weniger stark ausgeprägt. Die erheblichen Unterschiede zwischen den Versuchsjahren werden jedoch auch hier sichtbar. Im Versuchsjahr 1995 wurden die Aufwüchse der 2-Schnitt-Nutzungen im August nach VK sogar als leicht vergärbar einge-

stuft.

Die dritten Aufwüchse (hier nicht dargestellt) waren, bis auf eine Ausnahme von *F.spec.* 1993, der VK-Klasse < 45 zuzuordnen, d.h. es lag mittelschwer bis schwer vergärbare Grünfütter vor.

Die ersten Aufwüchse beider Pflanzenarten wurden überwiegend als leicht vergärbare, die zweiten und dritten Aufwüchse dagegen als mittelschwer und schwer vergärbare eingestuft.

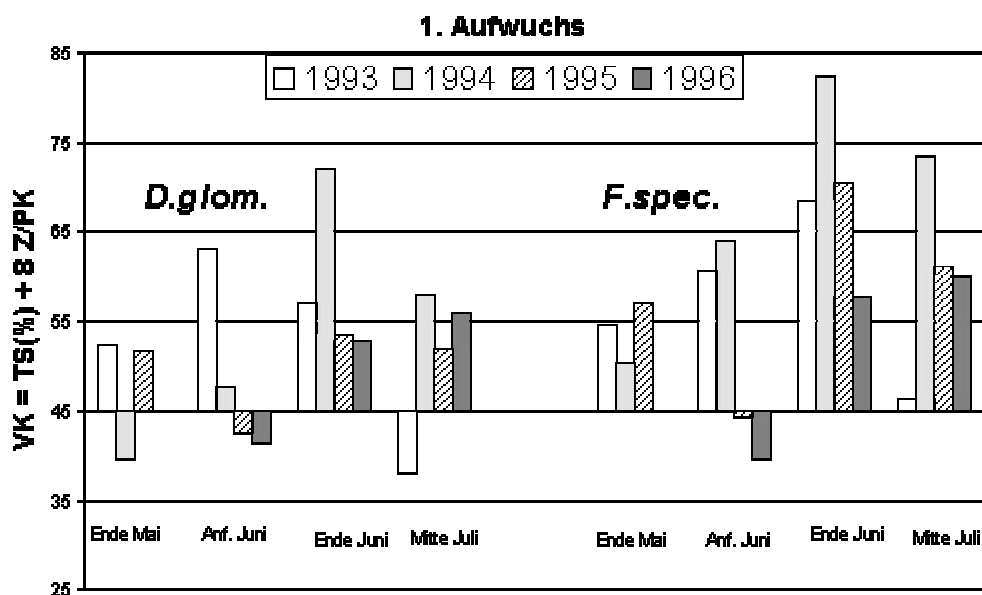


Abbildung 58: Vergärbarkeit von *D. glom.* u. *F. spec.*, 1. Aufwuchs (nach Schnittzeitpunkten)

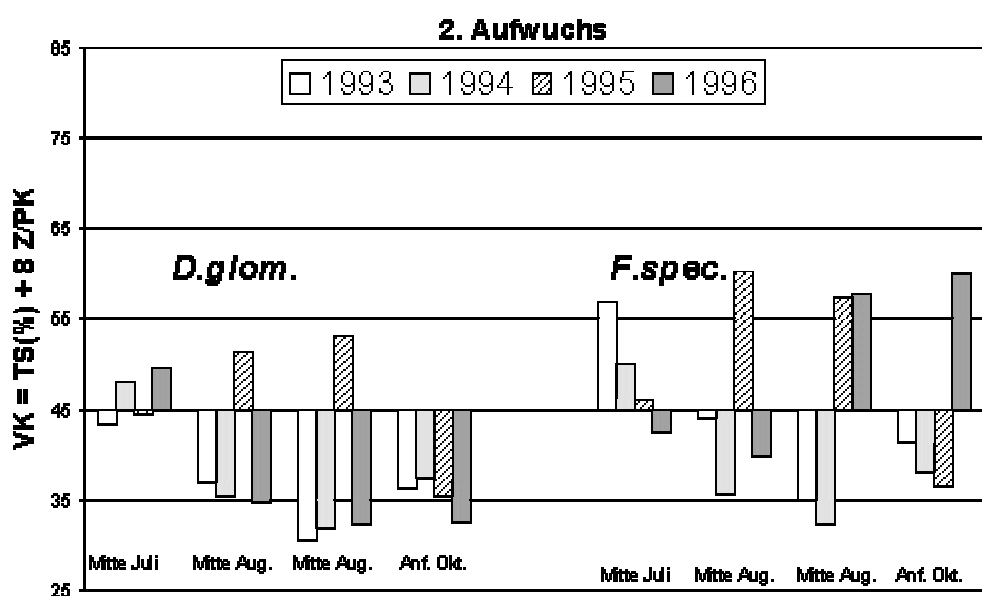


Abbildung 59: Vergärbarkeit von *D. glom.* u. *F. spec.*, 2. Aufwuchs (nach Schnittzeitpunkten)



#### 4.3.1.3 Epiphytischer Mikroorganismenbesatz des Grünfutters

Das Grünfutter für die Silierversuche wurde unter Versuchsbedingungen mit dem Parzellenmäher geerntet. Es kann davon ausgegangen werden, daß keine zusätzliche Verschmutzung, und somit erhöhte Clostridiensporenbelastung, aufgetreten ist.

Die analytische Bestimmung der Höhe des Clostridiensporengehaltes konnte erst ab dem Versuchsjahr 1995 durchgeführt werden. In Tabelle 37 ist der Clostridiensporengehalt für das Grünfutter der Versuchsjahre 1995 und 1996 bei beiden Pflanzenarten aufgeführt. Die Werte für den Sporengehalt, die mit Ausnahme eines zweiten Aufwuchses ( $1,3 \times 10^4$  MPN / g FM) zwischen  $4 \times 10^1$  und  $1,4 \times 10^3$  MPN / g FM lagen, bestätigen, daß das Grünfutter dieser beiden Jahre und beider Pflanzenarten insgesamt nur gering mit Clostridiensporen belastet war.

Im Versuchsjahr 1996 war bei beiden Pflanzenarten mit Werten zwischen  $4 \times 10^1$  und  $7 \times 10^2$  MPN / g FM eine äußerst geringe Clostridiensporenbelastung festzustellen.

Tabelle 37: Clostridiensporengehalt (MPN / g FM) im Grünfutter, *D.glom.* und *F.spec.*, 1995 und 1996

Nutzung	Aufwuchs	Schnitt	Clostridiensporengehalt (MPN / g FM)			
			<i>D.glom.</i>		<i>F.spec.</i>	
			1995	1996	1995	1996
3-Schnitt	1.	Ende Mai	$5 \times 10^1$	n.b.	$4 \times 10^2$	n.b.
	2.	Mitte Juli	n.n.	n.n.	$4 \times 10^2$	n.n.
	3.	Anf. Oktober	$5 \times 10^2$	$4 \times 10^1$	$5,2 \times 10^2$	$4 \times 10^1$
2-Schnitt	1.	Anf. Juni	$4 \times 10^1$	$5 \times 10^1$	n.n.	$4 \times 10^1$
	2.	Mitte August	$2 \times 10^2$	$9 \times 10^1$	n.n.	$7 \times 10^2$
	1.	Ende Juni	n.n.	$4 \times 10^1$	$4 \times 10^1$	$4 \times 10^1$
	2.	Mitte August	$1,3 \times 10^4$	$4 \times 10^1$	$2 \times 10^2$	$4 \times 10^1$
	1.	Mitte Juli	$1,4 \times 10^3$	$5 \times 10^1$	$1 \times 10^2$	$8 \times 10^1$
	2.	Anf. Oktober	$1,8 \times 10^2$	$4 \times 10^1$	$4 \times 10^2$	$4 \times 10^1$

Der natürliche Laktobakterienbesatz konnte innerhalb dieses vierjährigen Untersuchungsprogrammes nur 1996 analytisch ermittelt werden. Tabelle 38 weist dazu die Gehalte bei beiden Pflanzenarten aus.

Unterschiede zwischen den Pflanzenarten in der Höhe des natürlichen Laktobakterienbesatzes konnten nicht festgestellt werden.

Tabelle 38: Natürlicher Laktobakterienbesatz (KBE / g FM) des Grünfutters, *D.glom.* und *F.spec.*, 1996

Nutzung	Aufwuchs	Schnitt	Laktobakterienbesatz (KBE/ g FM)	
			<i>D.glom.</i>	<i>F.spec.</i>
3-Schnitt	1.	Ende Mai	n.b.	n.b.
	2.	Mitte Juli	$2,8 \times 10^3$	$1,4 \times 10^3$
	3.	Anf. Oktober	$1,3 \times 10^6$	$1,1 \times 10^6$
2-Schnitt	1.	Anf. Juni	$4,6 \times 10^2$	$1,6 \times 10^2$
	2.	Mitte August	$6,1 \times 10^3$	$5,0 \times 10^4$
	1.	Ende Juni	$1,9 \times 10^2$	$4,2 \times 10^2$
	2.	Mitte August	$1,1 \times 10^4$	$9,7 \times 10^3$
	1.	Mitte Juli	$1,8 \times 10^3$	$3,2 \times 10^3$
	2.	Anf. Oktober	$1,7 \times 10^6$	$1,8 \times 10^6$

In diesem Versuchsjahr zeigte sich, daß die Gehalte an Laktobakterien bei den jeweils zweiten Aufwüchsen aller geprüften Nutzungsvarianten im Vergleich zu den ersten Aufwüchsen deutlich höher lagen. Zum Schnitttermin Anfang Oktober bei der 3-Schnitt-Nutzung (3.Aufwuchs) und einer 2-Schnitt-Nutzung (2. Aufwuchs) beider Pflanzenarten wurden mit Werten von jeweils  $10^6$  KBE / g FM sehr hohe Gehalte nachgewiesen.

Zur Klärung der Frage, wie sich ein unterschiedlich hoher natürlicher Laktobakterienbesatz des Grünfutters auf die Gärqualität der Silagen auswirkt, sind in Tabelle 39 Vergärbarkeit und MSB-Besatz des Grünfutters ausgewählten Gärparametern der Silagen von *D.glom.* und *F.spec.* gegenübergestellt.

Tabelle 39: Ausgewählte Parameter der Vergärbarkeit von *D.glom.* und *F.spec.* sowie der Gärqualität der Silagen bei unterschiedlichem Laktobakterien-besatz (Versuche 1996)

Schnitt	TS g /kg	Z/PK	VK= TS(%) + 8Z/PK	MSB KBE/gFM	pH	MS % d.TS	BS % d.TS
<i>D.glom.</i>							
<i>Fest.spec.</i>							
<b>1.Aufwuchs</b>							
Ende Mai	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Anf.Juni	236	2,2	41	$4,6 \times 10^2$	4,0	6,8	2,0
	239	2,0	40	$1,6 \times 10^2$	3,9	8,3	1,2
Ende Juni	336	2,4	53	$1,9 \times 10^2$	4,4	3,1	1,5
	369	2,6	58	$4,2 \times 10^2$	3,6	2,4	1,3
Mitte Juli	389	2,1	56	$1,8 \times 10^3$	4,7	2,0	3,1
	399	2,5	60	$3,2 \times 10^3$	4,9	1,8	3,0
Spannweite			40 ... 60	$1,6 \times 10^2 \dots 3,2 \times 10^3$	3,6 ... 4,9	1,8 ... 8,3	1,2 ... 3,1
<b>2.Aufwuchs</b>							
Mitte Juli	330	2,1	50	$2,8 \times 10^2$	4,6	3,1	1,8
	291	1,7	43	$1,4 \times 10^3$	4,5	5,7	3,2
Mitte Aug.	218	1,6	35	$6,1 \times 10^3$	4,0	7,1	1,4
	265	1,5	35	$5,0 \times 10^4$	4,2	7,2	1,0
Mitte Aug.	211	1,4	32	$1,1 \times 10^4$	4,0	8,2	0
	216	1,4	33	$9,7 \times 10^3$	4,1	8,5	0,6
Anf.Okt.	204	1,5	32	$1,7 \times 10^6$	4,0	7,9	0,5
	218	1,7	35	$1,8 \times 10^6$	3,9	9,7	0,4
Spannweite			32 ... 50	$2,8 \times 10^2 \dots 1,8 \times 10^6$	3,9 ... 4,6	3,1 ... 9,7	0 ... 3,2
<b>3.Aufwuchs</b>							
Anf.Okt.	207	1,4	32	$1,3 \times 10^6$	6,1	7,9	0,4
	195	1,2	30	$1,1 \times 10^6$	4,0	10,5	1,9
Spannweite			30 ... 32	$1,1 \times 10^6 \dots 1,3 \times 10^6$	4,0 ... 6,1	7,9 ... 10,5	0,4 ... 1,9

Das Grünfutter der ersten, überwiegend leicht vergärbaren Aufwüchse wies bei beiden Pflanzenarten einen natürlichen Laktobakterienbesatz bis max.  $3,2 \times 10^3$  KBE / g FM auf. Bei den zweiten und dritten Aufwüchsen, die bis auf eine Ausnahme als mittelschwer bzw. schwer vergärbare eingeschätzt wurden, stiegen die Gehalte bis auf Werte von  $1,8 \times 10^6$  KBE / g FM bei späten Schnitten an. In Silagen aus diesen Aufwüchsen waren die MS-Gehalte deutlich höher und die BS-Gehalte niedriger als bei den Silagen der ersten Aufwüchse.

Der natürliche Laktobakterienbesatz war bei den Folgeaufwüchsen höher als bei den ersten Aufwüchsen (einjährige Ergebnisse, 1996). In der Tendenz zeigte sich, daß die Silagen der Folgeaufwüchse höhere Milchsäuregehalte und niedrigere Buttersäuregehalte als die ersten Aufwüchse aufwiesen. Das Grünfutter dieses Jahres wies dabei äußerst geringe Gehalte an Clostridiensporen auf.

#### 4.3.2 Versuche mit Grasmischungen aus unterschiedlichen Nutzungsvarianten (einjährig)

Vier Grünlandbestände unterschiedlich zusammengesetzter Grasmischungen vom Standort Blumberg wurden in die Prüfung zur Silierbarkeit von nitratarmem Grünfutter einbezogen. Das Nutzungsregime umfaßte zwei Varianten einer 3-Schnitt-Nutzung sowie eine 2-Schnitt-Nutzung. In den folgenden Auswertungen werden für die einzelnen Grasmischungen die Flächennummern entsprechend der unterschiedlichen Hauptbestandsbildner (siehe Material und Methode, Tabelle 7) angegeben.

##### 4.3.2.1 Chemische Zusammensetzung und Vergärbarkeit des Grünfutters

Das Grünfutter aller Nutzungsvarianten war mit Werten  $< 0,5$  g Nitrat/ kg TS nitratfrei.

Die zur Silierung eingesetzten Grünlandbestände werden zunächst hinsichtlich des Rohfaser- und Rohproteingehaltes charakterisiert.

In Abbildung 60 sind die RFa- Gehalte der einzelnen Aufwüchse dargestellt.

Die Aufwüchse der 3-Schnitt-Nutzungen mit RFa-Gehalten von ca. 250 g / kg TS und darunter sind im Hinblick auf die Siliereignung günstiger zu beurteilen als die der 2- Schnitt-Nutzung, bei der besonders die ersten Aufwüchse erwartungsgemäß deutlich höhere RFa-Gehalte aufwiesen.

Die Unterschiede im RFa-Gehalt zwischen gedüngten (Variante A) und ungedüngten (Variante B)

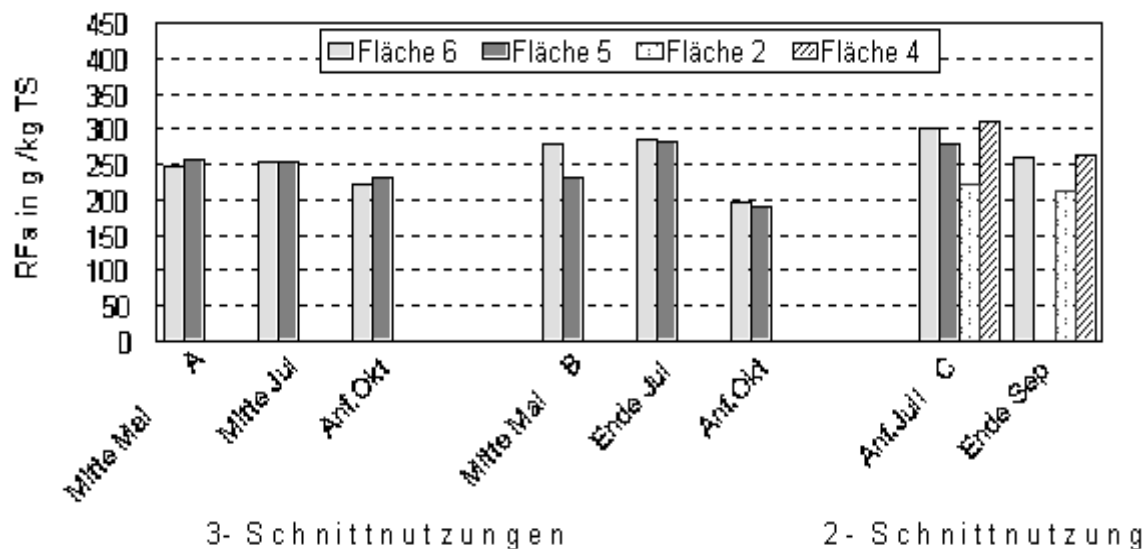


Abbildung 60: Rohfasergehalt im Grünfutter (Grasmischungen) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität; 1998

Wie aus Abbildung 61 zu den RP-Gehalten ersichtlich ist, wiesen die Werte zwischen 120 und 200 g/ kg TS bei beiden 3-Schnitt-Nutzungen ein mittleres Niveau auf. Unterschiede zwischen gedüngter (Variante A) und ungedüngter (B) 3-Schnitt-Nutzung waren insofern vorhanden, da in den Folgeschnitten der Variante B aufgrund eines höheren Weißkleeanteils höhere RP-Gehalte als bei Variante A festgestellt wurden.

Im Gegensatz dazu wiesen insbesondere die 1. Aufwüchse der 2-Schnitt-Nutzung deutlich niedrigere RP-Gehalte auf, die dann zum jeweiligen 2. Aufwuchs wieder angestiegen waren. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Grasmischungen bei 2-Schnitt-Nutzung sind sowohl bei RFa- als auch bei RP-Werten als meist gering einzuschätzen.

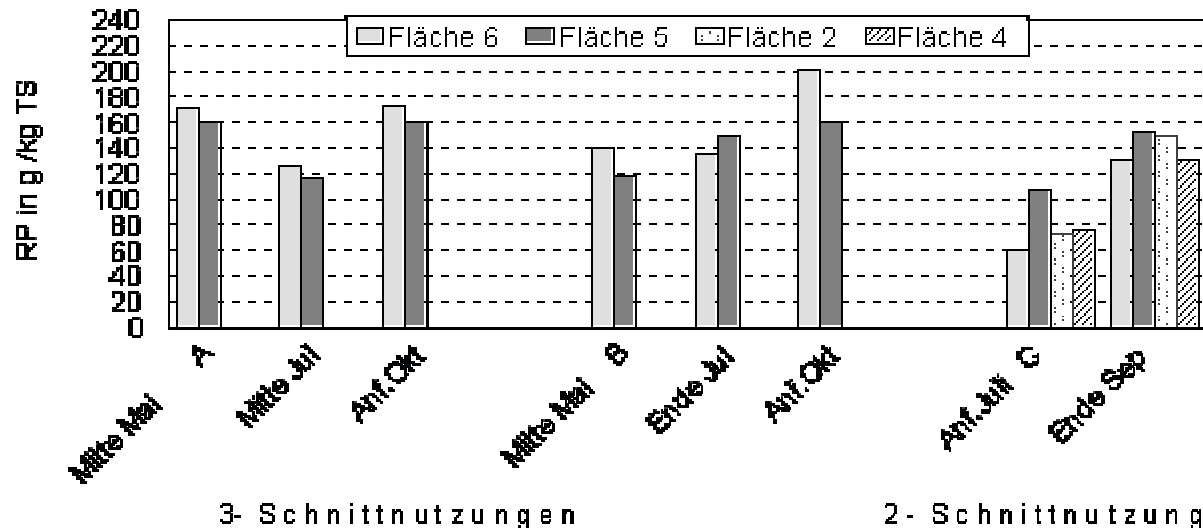


Abbildung 61: Rohproteininhalt im Grünfutter (Grasmischungen) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität; 1998

Die Trockensubstanzgehalte des Grünfutters (siehe Abb.62) waren entsprechend der kühlen und feuchten Witterung im Versuchsjahr 1996 insgesamt sehr niedrig.

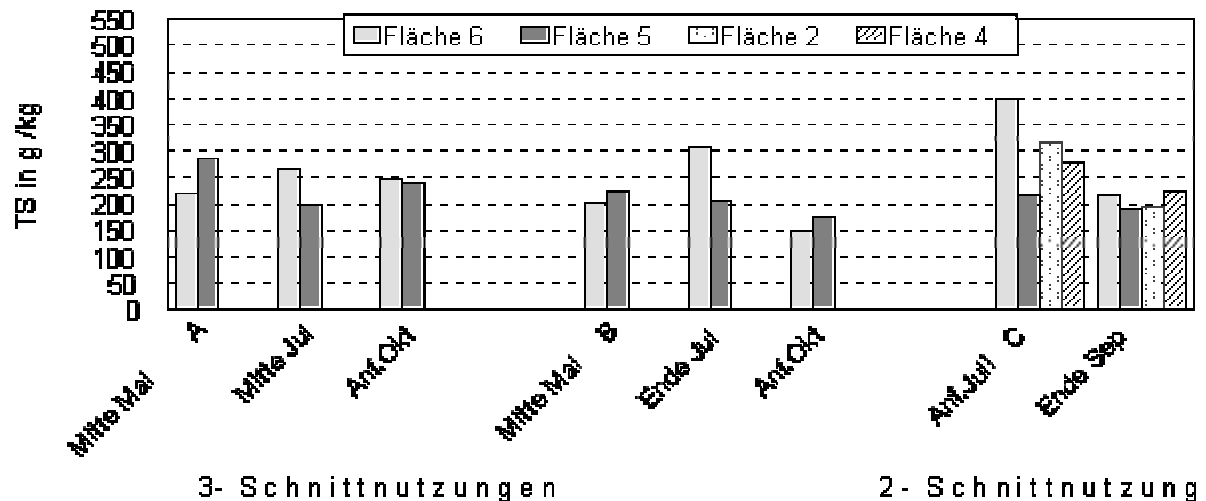


Abbildung 62: Trockensubstanzgehalt im Grünfutter (Grasmischungen) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität; 1998

Bei den 3-Schnitt-Nutzungen lagen die TS-Gehalte sowohl bei gedüngter (A) als auch bei ungedüngter Variante (B) zwischen 20 und 30 % bzw. zum 3. Aufwuchs (B) sogar unter 20 %.

Dagegen waren die TS-Gehalte des ersten Aufwuchses der Spätschnittnutzung (2- Schnitt-Nutzung) in der Tendenz etwas höher, bis maximal 40 %. Die zweiten Aufwüchse wiesen ebenfalls nur Gehalte von ca. 20 % auf.

Zwischen den Grasbeständen waren zu allen Schnittzeitpunkten kaum Unterschiede festzustellen.

Zur weiteren Charakterisierung der chemischen Zusammensetzung des Grünfutters wurden der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten und die Pufferkapazität des jeweiligen Aufwuchses bestimmt und zur Einschätzung der Vergärbarkeit, nach Aufwüchsen, in Tabelle 40 zusammengestellt.

Z/PK-Quotient und Vergärbarkeit, berechnet nach VK, sind ebenfalls in der Tabelle enthalten.

Tabelle 40: Chemische Zusammensetzung des Grünfutters (Grasmischungen, 1998) und Vergärbarkeit nach Aufwuchs und Nutzungsregime

Nutzung Variante	Fläche	TS g/ kg	WLKH g/ kg TS	PK g MS/kg TS	Z/PK	VK =TS(%) + 8Z/PK
<i>1. Aufwuchs</i>						
3-Schnitt	6	222	111	48	2,3	41
A	5	284	150	47	3,2	54
3-Schnitt	6	201	109	45	2,4	40
B	5	226	130	37	3,5	51
2-Schnitt	6	398	150	22	6,9	95
C	5	218	99	35	2,8	44
	2	314	114	24	4,7	69
	4	276	144	33	4,4	63
<i>2. Aufwuchs</i>						
3-Schnitt	6	265	150	43	3,5	55
A	5	197	144	41	3,6	48
3-Schnitt	6	307	144	48	3,0	55
B	5	207	93	51	1,8	35
2-Schnitt	6	217	123	48	2,6	42
C	5	192	79	59	1,4	30
	2	194	68	52	1,3	30
	4	224	62	52	1,2	32
<i>3. Aufwuchs</i>						
3-Schnitt	6	247	115	56	2,1	41
A	5	241	117	58	2,0	40
3-Schnitt	6	150	100	68	1,5	27
B	5	175	96	51	1,9	33

Aus den Angaben in Tabelle 40 geht hervor, daß die Gehalte an wasserlöslichen Kohlenhydraten zwischen den verschiedenen Grasbeständen sehr unterschiedlich waren. Die Pufferkapazität variierte dagegen im Vergleich der einzelnen Grasmischungen zu einem Schnitt nur geringfügig.

Die ersten Aufwüchse der 3-Schnitt-Nutzungen wurden nach VK je nach Grasmischung als leicht vergärbär bzw. nur als mittelschwer vergärbär eingeschätzt. Der Einfluß des TS-Gehaltes mit Werten unter 30 % war gering.

Die ersten Aufwüchse der 2-Schnitt-Nutzungen wiesen durchgehend eine sehr niedrige Pufferkapazität aus. Es ist anzunehmen, daß die Pufferkapazität im Zusammenhang mit den Rohproteingehalten steht, die bei den ersten Aufwüchsen der 2-Schnitt-Nutzung auffällig niedrig waren. Dementsprechend waren die Z/PK-Werte insgesamt sehr hoch. Das Grünfutter aller ersten Aufwüchse der 2-Schnitt-Nutzungen wurde als leicht vergärbär eingeschätzt.

Bei den zweiten Aufwüchsen sind die Grünfutterarten aus den 3-Schnitt-Nutzungen aufgrund relativ hoher Gehalte an WLKH bei vergleichbar niedriger Pufferkapazität überwiegend der VK-Klasse > 45 zuzuordnen. Die TS-Gehalte lagen zwischen 20 und 30 %.

Die zweiten Aufwüchse der 2-Schnitt-Nutzung wiesen dagegen deutlich geringere Gehalte an WLKH bei niedrigen TS-Gehalten auf. In der Tendenz lagen die Werte für die Pufferkapazität etwas höher. Dieses Grünfutter wurde mit VK-Werten < 45 als schwer vergärbär eingeschätzt.

Beim Vergleich der Vergärbarkeit nach VK bei ersten und zweiten Aufwüchsen wird deutlich, daß zwischen den Pflanzenarten zu annähernd gleichen Schnittterminen, auch innerhalb einer VK-Klasse, tendenziell Unterschiede bestehen.

Das Grünfutter der dritten Aufwüchse wies nur mittlere Gehalte an WLKH auf. Die Pufferkapazität ist als hoch einzustufen. Damit wurde das Grünfutter nach VK nur als mittelschwer und schwer vergärbär eingeschätzt.

Das Grünfutter der einzelnen Grasmischbestände aller Nutzungsvarianten, durchgehend nitratfrei, war hinsichtlich RFa-, RP- sowie TS- und WLKH-Gehalt unterschiedlich zusammengesetzt. Die ersten Aufwüchse wurden nach TS und Z/PK als überwiegend leicht vergärbare, die zweiten und dritten Aufwüchse meist als schwer und mittelschwer vergärbare eingestuft.

#### 4.3.2.2 Epiphytischer Mikroorganismenbesatz des Grünfutters

Aus Tabelle 41 ist der Clostridiensporengehalt des Grünfutters aller Aufwüchse ersichtlich. Das Grünfutter aller Versuche wurde unter Versuchsbedingungen geerntet. Dementsprechend sind die Werte für den Clostridiensporengehalt zwischen  $2 \times 10^1$  und  $5,9 \times 10^2$  MPN/ g FM bei allen Varianten und Grasbeständen sehr niedrig.

In Tabelle 42 wurden die Werte für den natürlichen Laktobakterienbesatz der Grünfutterarten getrennt nach 1., 2. und 3. Aufwuchs zusammengestellt. Die Höhe des natürlichen Laktobakterienbesatzes insgesamt ist als gering einzuschätzen. Bei drei Grünfutterarten des 2. Aufwuchses wurden erhöhte Gehalte, mit Werten zwischen  $1,3 \times 10^4$  bis  $9,1 \times 10^4$  KBE/ g FM festgestellt. Der Laktobakterienbesatz war bei den 2. Aufwüchsen im Mittel höher als bei ersten und dritten Aufwüchsen.

Tabelle 41: Clostridiensporengehalt im Grünfutter (Grasmischungen, 1998) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität

Nutzung Variante	Aufwuchs	Schnitt	Clostridiensporengehalt (MPN/ g FM)			
			Fläche 6	Fläche 5	Fläche 2	Fläche 4
3-Schnitt A	1.	Mitte Mai	$1,8 \times 10^2$	$1,2 \times 10^2$		
	2.	Mitte Juli	$1,5 \times 10^2$	$5,4 \times 10^2$		
	3.	Anf. Oktober	$1,2 \times 10^2$	$3,1 \times 10^2$		
3-Schnitt B	1.	Mitte Mai	$2,9 \times 10^2$	$7,0 \times 10^1$		
	2.	Ende Juli	$2,5 \times 10^2$	$3,2 \times 10^2$		
	3.	Anf. Oktober	$2,1 \times 10^2$	$3,6 \times 10^2$		
2-Schnitt C	1.	Anf. Juli	$2,0 \times 10^1$	$2,0 \times 10^1$	$4,0 \times 10^1$	$5,9 \times 10^2$
	2.	Ende September	$6,0 \times 10^1$	$2,9 \times 10^2$	$1,3 \times 10^2$	$1,5 \times 10^2$

Tabelle 42: Natürlicher Laktobakterienbesatz des Grünfutters (Grasmischungen, 1998) aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität

Aufwuchs	Nutzung Variante	Schnitt	Laktobakterienbesatz (KBE/ g FM)			
			Fläche 6	Fläche 5	Fläche 2	Fläche 4
1.	3-Schnitt A	Mitte Mai	$2,6 \times 10^2$	$4,4 \times 10^3$		
	3-Schnitt B	Mitte Mai	$8,3 \times 10^2$	$6,3 \times 10^3$		
	2-Schnitt C	Anf. Juli	$3,0 \times 10^3$	$6,5 \times 10^3$	$1,3 \times 10^3$	$1,4 \times 10^3$
2.	3-Schnitt A	Mitte Juli	$1,3 \times 10^4$	$4,1 \times 10^3$		
	3-Schnitt B	Ende Juli	$7,0 \times 10^3$	$9,1 \times 10^4$		
	2-Schnitt C	Ende September	$3,3 \times 10^3$	$4,0 \times 10^3$	$4,5 \times 10^4$	$5,8 \times 10^3$
3.	3-Schnitt A	Anf. Oktober	$9,1 \times 10^2$	$7,3 \times 10^2$		
	3-Schnitt B	Anf. Oktober	$7,6 \times 10^3$	$9,8 \times 10^3$		

Im Vordergrund des einjährigen Untersuchungsprogramms mit verschiedenen Grasmischungen stand die Fragestellung nach dem Zusammenhang von Vergärbarkeit des Grünfutters nach TS und Z/PK und Höhe des Epiphytenbesatzes des Siliergutes aus unterschiedlichen Nutzungsvarianten.

Tabelle 43: Ausgewählte Parameter der Vergärbarkeit von Grasmischungen sowie der Gärqualität der Silagen bei unterschiedlichem Laktobakterienbesatz (Versuche 1998)

Schnittnutzung/ Variante/Fläche	TS g/kg	Z/PK	VK .= TS(%) + 8Z/PK	MSB KBE/ g FM	pH	MS % TS	BS <sup>1)</sup> % TS
<b>1. Aufwuchs</b>							
3/A/6	222	2,3	41	$2,6 \times 10^2$	6,0	0,0	6,1
3/A/5	284	3,2	54	$4,4 \times 10^3$	4,8	2,0	1,6
3/B/6	201	2,4	40	$8,3 \times 10^2$	4,6	1,5	2,9
3/B/5	226	3,5	51	$6,3 \times 10^3$	4,2	3,2	1,4
2/C/6	398	6,9	95	$3,0 \times 10^3$	4,4	0,8	1,1
2/C/5	218	2,8	44	$6,5 \times 10^3$	4,7	1,2	4,2
2/C/2	314	4,7	69	$1,3 \times 10^3$	4,0	1,9	1,5
2/C/4	276	4,4	63	$1,4 \times 10^3$	4,0	2,3	1,0
von ... bis	201...398	2,3...6,9	40 ... 95	$2,6 \times 10^2$ ... $6,5 \times 10^3$	4,0...6,0	0 - 3,2	1,0 - 6,1
<b>2. Aufwuchs</b>							
3/A/6	265	3,5	55	$1,3 \times 10^4$	4,6	1,8	2,6
3/A/5	197	3,6	48	$4,1 \times 10^3$	4,2	3,5	2,7
3/B/6	307	3,0	55	$7,0 \times 10^3$	4,7	1,7	1,6
3/B/5	207	1,8	35	$9,1 \times 10^4$	4,5	2,6	3,8
2/C/6	217	2,6	42	$2,4 \times 10^4$	4,0	4,5	1,3
2/C/5	192	1,4	30	$4,0 \times 10^3$	4,9	1,3	5,2
2/C/2	194	1,3	30	$4,5 \times 10^4$	4,0	5,0	0,3
2/C/4	224	1,2	32	$5,8 \times 10^3$	4,6	2,2	4,4
von ... bis	192...307	1,2...3,6	30 ... 55	$4,1 \times 10^3$ ... $9,1 \times 10^4$	4,0...4,9	1,3 ... 5,0	0,3 ... 5,2
<b>3. Aufwuchs</b>							
3/A/6	247	2,1	41	$9,1 \times 10^2$	4,9	2,3	4,9
3/A/5	241	2,0	40	$7,3 \times 10^2$	5,9	0,1	8,6
3/B/6	150	1,5	27	$7,6 \times 10^3$	4,1	6,3	0,2
3/B/5	175	1,9	33	$9,8 \times 10^3$	4,2	5,5	4,8
von ... bis	150...247	1,5...2,1	27 ... 41	$7,3 \times 10^2$ ... $9,8 \times 10^3$	4,1...5,9	0,1 ... 6,3	0,2 ... 8,6

1) BS hier: BS<sub>Ges.</sub>

Dazu wurden in Tabelle 43 ausgewählte Parameter der Vergärbarkeit des Grünfutters nach Aufwüchsen dem Epiphytenbesatz des Ausgangsmaterials und ausgewählten Parametern der Gärqualität der Silagen gegenübergestellt. Zur besseren Übersichtlichkeit wurden die Gehalte an Milchsäure und Buttersäure nur mit einer Dezimalstelle angegeben.

Aus Tabelle 43 geht hervor, daß Unterschiede in der Höhe des Epiphytenbesatzes weniger in Abhängigkeit der Nutzungsvariante auftraten, sondern in Abhängigkeit der Aufwuchsnummer.

Es zeigte sich, daß die ersten und dritten Aufwüchse einen geringeren Laktobakterienbesatz mit Werten zwischen  $10^2$  und  $10^3$  KBE/ g FM aufwiesen als die zweiten Aufwüchse mit Werten zwischen  $10^3$  und  $10^4$  KBE/ g FM.

Bei den Silagen dieser zweiten Aufwüchse mit dem höheren Laktobakterienbesatz traten hohe MS-Gehalte auf. Das Niveau der MS-Gehalte lag bei den ersten Aufwüchsen dagegen deutlich niedriger. Die Vergärbarkeit nach VK war jedoch bei den ersten Aufwüchsen mit VK-Werten zwischen 40 und 95 am höchsten, bei den zweiten und dritten Aufwüchsen deutlich niedriger.

Ungeachtet dessen war jedoch in allen Silagen, unabhängig vom Epiphytenbesatz und der Höhe des MS-Gehaltes, Buttersäure festgestellt worden.

*Die zur Silierung verwendeten Grasbestände wiesen bei nur geringen Clostridiensporengehalten und Laktobakterienkeimzahlen unter  $10^5$  KBE/ g FM auf. Die zweiten Aufwüchse hatten im Vergleich zu ersten und dritten Aufwüchsen die höchsten Gehalte an Laktobakterien und tendenziell höhere MS-Gehalte. Buttersäure war ungeachtet dessen in nahezu allen Silagen vorhanden.*

### 4.3.3 Vergärbarkeit und Gärqualität der Silagen aus unterschiedlichen Nutzungsvarianten im Vergleich

Die Ergebnisse des vierjährigen Untersuchungsprogrammes mit den Pflanzenarten *D.glom.* und *F.spec.* sowie des einjährigen Untersuchungsprogrammes mit verschiedenen Grasmischungen von jeweils unterschiedlichen Standorten wurden in Tabelle 44 vergleichend zusammengestellt. Alle Ausgangsmaterialien waren nitratfrei und nur gering mit Clostridiensporen belastet.

Mit den vorliegenden Untersuchungsergebnissen wurde bestätigt, daß die Vergärbarkeit, gemessen an TS-Gehalt und Z/PK-Quotienten, auch bei nitratarmem Grünfutter neben der Pflanzenart durch den Schnittzeitpunkt bestimmt wird. Bei den untersuchten Pflanzenarten konnten meist die jeweils ersten Aufwüchse, auch bei Schnittverzögerung bis in den Juli hinein, als leicht vergärbar eingestuft werden. Die Folgeaufwüchse konnten dagegen überwiegend als schwer und mittelschwer vergärbar gelten. Der natürliche Laktobakterienbesatz war bei den Folgeaufwüchsen am höchsten.

Meist lag in erheblichem Umfang Milchsäure vor. Trotzdem und ungeachtet von Vergärbarkeit und Höhe des Laktobakterienbesatzes trat in den meisten Silagen aller Grünfutterarten Buttersäure auf. Selbst bei VK-Werten von > 45, wo eigentlich BS-freie Silagen erwartet wurden, lagen zum Teil recht hohe BS-Gehalte vor. Einige wenige BS-freie Silagen traten nur bei der Silierung von Grünfutter 2. bzw. 3. Aufwüchse auf.

Dagegen sind ES-, Alkohol- und Ammoniak-Gehalte insgesamt als niedrig zu bewerten.

Tabelle 44: Ergebnisse zu Vergärbarkeit und Gärqualität der Silagen aus unterschiedlichen Nutzungsvarianten im Vergleich

		<i>D.glom./ F.spec.</i>	<i>Grasmischungen</i>
Anzahl der Versuche	n	70	20
<b>Vergärbarkeit</b>			
Nitratgehalt		< 0,5 g NO <sub>3</sub> / kg TS	
TS	1.Aufwuchs	Bis 40 und 50%	Bis 40%
	2.Aufwuchs	< 30 %	
	3.Aufwuchs	< 30%	< 25%
WLKH		<i>F.spec.</i> > <i>D.glom.</i>	Unterschiede im Gehalt zwischen den Grasbeständen
PK		Kaum Unterschiede zwischen Nutzungsvarianten innerhalb eines Jahres	
Clostridiensporengehalt	MPN/ g	< 1 x 10 <sup>3</sup>	< 6 x 10 <sup>2</sup>
FM			
Laktobakterienbesatz	KBE/ g	Bei 2. /3. Aufwüchsen höher als bei 1. Aufwüchsen; 4 von 16 Versuchen mit > 10 <sup>5</sup> KBE/ g FM	Bei 2. /3.Aufwüchsen höher als bei 1. Aufwüchsen; nicht über 10 <sup>5</sup> KBE/ g FM
FM			
Vergärbarkeit nach VK		1. Aufwüchse meist leicht vergärbar; 2. und 3. Aufwüchse überwiegend mittelschwer und schwer vergärbar	
<b>Gärqualität</b>			
BS		Unabhängig von VK vorhanden, bei oftmals mittleren bis hohen MS- Gehalten BS-freie Silagen nur bei nach VK schwer und mittelschwer vergärbaren 2.und 3. Aufwüchsen	
ES	% TS	< 2,5 %	< 2,4 %
Alkohol	% TS	0,1 ... 1,7 %	0,7...3,4 %
NH <sub>3</sub> -N an N <sub>ges.</sub>	%	2,5...15,2 (3 Ausnahmen: 19,5...30,6)	4,5...14,7 (2 Ausnahmen: 24,7 und 33,8)



## 5 Diskussion

### 5.1 Zum Gärungsverlauf bei der Silierung von nitratarmem Grünfutter

Die Versuchsergebnisse haben gezeigt, daß das Fehlen von Nitrat im Gärsubstrat zu wesentlich veränderten Gärungsverläufen mit anderem Gärproduktmuster am Ende des Gärverlaufes führt als für nitratthaltiges Grünfutter bekannt ist.

#### 5.1.1 Zur Buttersäurebildung

Unabhängig von der Einschätzung der Vergärbarkeit des Grünfutters nach den derzeit gültigen Parametern TS und Z/PK trat bei der Silierung von nitratarmem Grünfutter nahezu von Gärbeginn an Buttersäure auf, etwa parallel zur Milchsäuregärung und trotz Rückgang des pH-Wertes.

Buttersäure kann in der Silage durch Clostridien gebildet werden. Clostridien als gram-positive, sporenbildende, anaerobe Bakterien können sowohl Zucker und organische Säuren als auch Proteine und Aminosäuren fermentieren (WOOLFORD, 1984; McDONALD et al., 1991). Basierend auf dem hauptsächlich genutzten Gärsubstrat werden die einzelnen Stämme in die physiologischen Gruppen der saccharolytischen bzw. proteolytischen Clostridien eingeordnet (BECK, 1978; McDONALD et al., 1991).

Nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand gilt als Ursache der BS-Gärung in Silagen der Abbau von Laktat durch Clostridien in späteren Gärungsstadien (HEIN, 1970; HEIN und WEIßBACH, 1977; McDONALD et al., 1991).

In den Versuchen mit nitratarmem Grünfutter war aber bereits in den ersten Gärungstagen neben Milchsäure auch Buttersäure in den Silagen nachgewiesen worden. Die Gesamt-BS-Fraktion, in der summarisch sowohl iso-Säuren als auch höhere Homologe der Buttersäure zusammengefaßt werden, bestand zu Gärbeginn ausschließlich aus n-Buttersäure.

Aufgrund des Gärproduktmusters kann ausgeschlossen werden, daß zu Gärbeginn proteolytische Clostridien stoffwechselaktiv waren. Die dazu zählenden Clostridienstämme wie *C. bifermentans* und *C. sporogenes* bauen Aminosäuren außer durch Desaminierung und Decarboxylierung überwiegend durch Oxidation/Reduktion nach Stickland ab (OHSHIMA und McDONALD, 1978). Als Reaktionsprodukte entstehen dabei flüchtige Fettsäuren ab C<sub>2</sub>, n- und iso-Säuren als Gemisch, und je ein Mol Kohlendioxid und Ammoniak aus einem Mol einer Aminosäure. In den vorliegenden Versuchen konnten weder iso-Säuren und höhere Homologe der BS, noch stark erhöhte Ammoniakgehalte zu Gärbeginn nachgewiesen werden. Es ist anzunehmen, daß durch MS-Gärung und pH-Absenkung proteolytische Clostridienaktivität zu Gärbeginn unterbunden wurde.

Es kann aber davon ausgegangen werden, daß saccharolytische Clostridien, wie *C. butyricum* und *C. tyrobutyricum*, zu Gärbeginn BS-Gärung durchgeführt haben. Als mögliche Reaktionswege zur BS-Bildung kommen in Betracht (McDONALD et al., 1991):



WEIßBACH und HAACKER (1988) führten die BS-Bildung zu Gärbeginn in einem Silierversuch mit nitratarmen Getreideganzpflanzen allein auf die Weitervergärung von Laktat (RG 2), zurück.

Die in der vorliegenden Arbeit festgestellten Gärungsverläufe sind jedoch durch nahezu gleichzeitigen Anstieg von Buttersäure- und Milchsäuregehalten bei pH-Rückgang charakterisiert.

Bei einer Weitervergärung von Laktat nach Reaktionsgleichung 2 müßte bei Bildung von 1 Mol Buttersäure aus 2 Mol Laktat der pH-Wert ansteigen, da Buttersäure eine schwächere Säure als Milchsäure

ist.

Ein Abbau von Laktat zu Gärbeginn kann aus den gefundenen Gärverläufen nicht abgeleitet, aber auch nicht zweifelsfrei ausgeschlossen werden.

Die Ergebnisse weisen eher darauf hin, daß den saccharolytischen Clostridien leicht lösliche Kohlenhydrate wie Glucose und Fructose als Substratquelle dienen. Das würde bedeuten, daß die erwünschten Laktobakterien und die gärungsschädlichen Clostridien Nahrungskonkurrenten sind.

Im Verlaufsversuch mit Knaulgras des ersten Aufwuchses wurde trotz eines hohen Gehaltes an wasserlöslichen Kohlenhydraten im Grünfütter nur wenig Milchsäure gebildet und der pH-Wert nur geringfügig abgesenkt. Milchsäure- und Buttersäuregärung hatten zu Gärbeginn das gleiche Ausmaß. In den anderen Versuchen wurde mehr Milchsäure gebildet, der pH-Wert stärker abgesenkt und BS-Gärung zu Gärbeginn war vergleichsweise geringer. Es erfolgte aber auch hier keine vollständige Ausschaltung von Clostridienaktivität, gemessen an der BS-Bildung.

Bisher ist man davon ausgegangen, daß Clostridien, die in Form ihrer Endosporen in den Silo gelangen und eine langsame Anfangsentwicklung aufweisen, nicht säuretolerant sind und infolgedessen zu Gärbeginn durch intensive Milchsäuregärung mit schneller Absenkung des pH-Wertes am Auskeimen gehindert und inhibiert werden können. Das konnte durch die Silierversuche mit nitratarmem Grünfütter nicht bestätigt werden.

In den vorliegenden Verlaufsversuchen wurde zusätzlich geprüft, ob durch eine Stimulierung der Milchsäuregärung mit Hilfe von MSB-Präparaten die frühzeitige BS-Bildung durch Clostridien unterdrückt werden konnte. Insbesondere beim Versuch mit Knaulgras des ersten Aufwuchses konnte die Milchsäurebildung deutlich gesteigert werden, wodurch das Ausmaß der „Anfangs-BS-Gärung“ eingeschränkt wurde. Jedoch war in diesem und den anderen Versuchen trotz MSB-Zusatz und intensiver MS-Gärung die frühzeitige BS-Bildung nicht unterdrückt worden. Obwohl die beiden verwendeten Präparate hinsichtlich der enthaltenen homofermentativen Bakterienstämme und der Menge der gebildeten Milchsäure unterschiedlich waren, ist die Wirkung beider MSB-Präparate bezüglich der Beeinflussung von Clostridienaktivität und BS-Gärung vergleichbar.

Auch ein Ameisensäurezusatz, der in allen Versuchen mit dem vorrangigen Ziel der Aziditätsabsenkung zu Gärbeginn eingesetzt wurde, konnte Clostridienaktivität höchstens einschränken. Häufig wurde bei Ameisensäurezusatz die Milchsäuregärung bereits in den ersten Tagen weitgehend ausgeschaltet. Die Effekte hinsichtlich der Höhe der BS-Gehalte in Silagen sind jedoch mit denen der biologischen Silierzusätze vergleichbar gewesen.

Es ist anzunehmen, dass selbst bei ausgedehnter MS-Gärung, gefördert durch MSB-Präparate, und pH-Absenkung infolge biologischer Säuerung oder Ameisensäure-Zusatz die saccharolytischen Clostridien zu Gärbeginn nicht ausreichend gehemmt werden. Die Säuretoleranz von Clostridien ist offensichtlich höher als allgemein angenommen wurde. Damit übereinstimmend sind die Ergebnisse mehrerer in-vitro-Versuche anderer Autoren zu werten. Sie zeigten, dass große Unterschiede in der Säuretoleranz einzelner Clostridienstämme bestehen (WOOLFORD, 1984, JONSSON,

1989; et al., 1991). Gegenüber niedrigen pH-Werten ist z.B. *C. tyrobutyricum* im Vergleich zu *C. butyricum* zweimal weniger empfindlich (McDonald et.al; 1991).

SPOELSTRA (1983) fand, dass die Clostridienaktivität in der Silage nur solange verhindert wird, wie Nitrat vorhanden ist. Bereits WIERINGA (1966), HEIN (1970) und KAISER (1981) konnten feststellen, dass der Nitratgehalt im Grünfütter von großem Einfluß auf die Clostridienentwicklung in Silagen ist. Enthielt das Grünfütter Nitratgehalte zwischen 4 und 10 g Nitrat/kg TS, wurde Clostridien inhibiert. Bei niedrigeren Nitratgehalten war Clostridienaktivität und somit das Auftreten von Fehlgärungen nachweisbar. Da das Vorkommen mittlerer Nitratgehalte im Grünfütter bisher eher der Regelfall war und nitratarmes oder sogar nitratfreies Grünfütter praktisch keinerlei Bedeutung hatte, wurde diesen Ergebnissen jedoch keine besondere Beachtung geschenkt.

Für die vorliegende Arbeit wurde die Hypothese aufgestellt, daß die Buttersäuregärung von Gärbeginn an durch das Fehlen des natürlichen Clostridieninhibitors Nitrat im Gärsubstrat verursacht wird. Zur Bestätigung der Hypothese wurden die Gärverlaufsversuche mit nitratarmem Grünfütter bei Zusatz von 0,05 % und 0,1% N als Nitrat/ Nitrit durchgeführt. Es zeigte sich, daß durch diesen Zusatz die „Anfangs-BS-Gärung“ je nach Höhe des Clostridiensporenbesatzes auf dem Grünfütter im Gegensatz zur unbehandelten Kontrollvariante eingeschränkt bzw. vollständig unterbunden werden konnte.

Die Clostridienaktivität wird nach SPOELSTRA (1983, 1985) durch die zu Gärbeginn aus dem Nitrat

entstehenden Reduktionsprodukte Nitrit (ROBERTS, 1975) und nitrose Gase (BARNETT, 1953; HEIN, 1970; KAISER, 1987) stark gehemmt. In den Versuchen der vorliegenden Arbeit war bei einer Dosis von 0,05 % N die Wirkung des Nitrits etwas stärker ausgeprägt als die des Zusatzes an Nitrat. Das dürfte darauf zurückzuführen sein, daß das Nitrit die eigentlich inhibitorische Funktion ausübt und im Gärverlauf erst durch Reduktion aus dem Nitrat gebildet werden muß.

Durch Zusatz von Nitrat/ Nitrit wurde in allen Gärverläufen nicht nur Buttersäuregärung stark eingeschränkt oder unterbunden, sondern Milchsäurebildung im Vergleich zu den Kontrollvarianten von Gärbeginn an gefördert. In den Verlaufsversuchen mit Knaulgras des ersten Aufwuchses zeigte sich, daß wasserlösliche Kohlenhydrate in den Varianten mit Nitrat/ Nitrit im Vergleich zur Kontrolle in wesentlich geringerem Umfang abgebaut wurden. Durch den Zusatz von Nitrat oder Nitrit sind offensichtlich

Clostridien als Nahrungskonkurrenten für die Milchsäurebakterien ausgeschaltet worden, so daß durch die natürliche MSB-Flora mehr Milchsäure gebildet werden konnte. Das ist um so bedeutsamer, als die erwünschten Laktobakterien durch die gärungsschädlichen Clostridien in ihrer Stoffwechselaktivität höchstwahrscheinlich eingeschränkt werden und sich offensichtlich nur dann im Gärprozeß durchsetzen können, wenn Clostridien wirksam in ihrer Entwicklung gehemmt werden.

Die Abbildung 63 stellt schematisch die Gärungsvorgänge zu Gärbeginn in nitrathaltigem denen in nitratfreiem Grünfütter gegenüber. Die Essigsäurebildung wird in einem gesonderten Kapitel diskutiert.

Die Silierversuche mit Zusatz von Nitrat/ Nitrit zu nitratarmem Grünfütter bestätigten die Hypothese, daß Clostridienaktivität, gemessen an der BS-Bildung, von Gärbeginn an durch einen Hemmstoff wie Nitrat unterbunden werden kann.

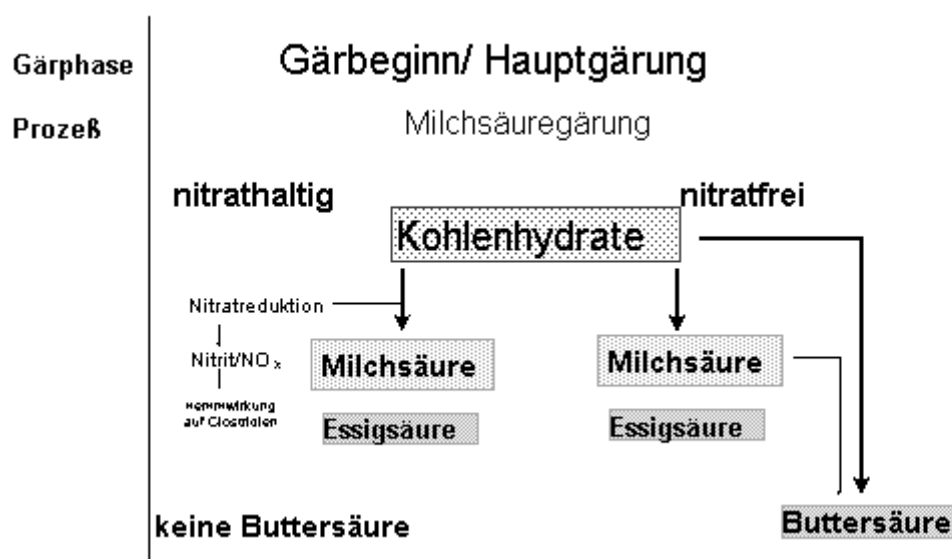


Abbildung 63: Gärprozess in nitrathaltigem bzw. nitratfreiem Grünfütter, Gärbeginn und Hauptgärphase

Nachdem festgestellt wurde, daß Clostridien in den ersten Gärungstagen bei der Silierung von nitratarmem Grünfütter nicht wirksam gehemmt werden, erhebt sich die Frage nach den Auswirkungen eines erhöhten Clostridiensporenbesatzes auf dem Siliergut für den Verlauf der Gärung. In der Praxis ist insbesondere bei Einsatz von Gülle in der Grünfütterproduktion mit dem Auftreten von erhöhten Clostridiensporengehalten im Ausgangsmaterial zur Silierung und somit auch in Silagen zu rechnen (RAMMER et al., 1994; RAMMER und LINGVALL, 1997). Wenn das Grünfütter eine erhöhte Sporenbelastung aufweist, müßte demnach mit einer verstärkten Clostridienaktivität von Gärbeginn an gerechnet werden. Desweiteren ist zu diskutieren, welche Auswirkungen die frühzeitige BS-Bildung in den Silagen auf den weiteren Gärungsverlauf hat und ob in Abhängigkeit des Clostridiensporenbesatzes unterschiedliche Gärverläufe auftreten können.

Nach den vorliegenden Untersuchungen war anzunehmen, daß bei Fehlen des natürlichen Clostridieninhibitors Nitrat um so mehr Buttersäure in kürzester Zeit gebildet wird, je höher der Sporenbesatz ist. Für diese Annahme sprechen Ergebnisse von MARFART (1995), der in Modellversuchen zur Sporenkeimung von *C.tyrobutyricum* fand, daß bei einer Temperatur von 27 °C bereits nach 80 min. 50 % der vorhandenen Sporen ( $10^9$  Sporen je ml) ausgekeimt waren. Wenn auch bei der Silierung im allgemeinen immer von etwas geringeren Temperaturen ausgegangen werden kann, so war doch daraus abzuleiten, daß mit höherer Sporenzahl bereits zu Gärbeginn ein größeres Risiko für die BS-Bildung in Silagen gegeben ist.

Beim Vergleich der Versuche mit geringem und erhöhtem Clostridiensporenbesatz zeigte sich, daß in den Silagen aus nitratarmem Grünfutter mit höherer Sporenzahl in den ersten Gärungstagen nur geringfügig höhere BS-Gehalte gebildet wurden. Auch hier wurden in den Silagen keine iso-Säuren und höhere Homologe der Buttersäure sowie Ammoniak in größerem Ausmaß nachgewiesen. Offensichtlich konnten sich die zugesetzten Clostridiensporen nicht so schnell entwickeln wie nach den Befunden von MARFART (1995) erwartet wurde. Diese Unterschiede können zum einen dadurch bedingt sein, daß die untersuchten Sporen zwar im Kultursubstrat auskeimen, nicht jedoch in der Silage (JONSSON, 1989). Andererseits konnte bei den vorliegenden Versuchen analytisch nicht bestimmt werden, wieviel proteolytische oder saccharolytische Clostridiensporen beim zugesetzten Sporenmaterial vorhanden waren. Proteolytische Clostridensporen könnten beispielsweise durch schnelle Säuerung und niedrigen pH-Wert am Auskeimen gehindert worden sein.

Die Versuche mit, nach TS und Z/PK, leicht vergärbarem Knaulgas des ersten Aufwuchses waren in ihrem gesamten Gärverlauf in Abhängigkeit des Clostridiensporenbesatzes nicht wesentlich voneinander. Unabhängig von der Sporenbelastung des Siliergutes wurde Buttersäure von Gärbeginn an in großem Ausmaß gebildet. Die BS-Gärung führte zu Gehalten von ca. 6% in TS und kam erst nach 56 Tagen zum Stillstand. Die MS-Bildung war vergleichsweise gering. Jedoch setzte erst im Versuch mit erhöhter Sporenbelastung nach 56 Tagen Laktatabbau ein. Clostridien konnten sich, unabhängig von der Höhe des Sporenbesatzes auf dem Grünfutter, gegenüber Laktobakterien durchsetzen.

Bei den Gärverlaufsversuchen mit den anderen Futterpflanzen zeigten sich die Unterschiede in Abhängigkeit der Clostridensporenbelastung im Gärverlauf deutlicher.

Im Versuch mit sauber geerntetem, mittelschwer vergärbarem Knaulgras des zweiten Aufwuchses blieben die BS-Gehalte auf niedrigem Niveau konstant. Die Silagen sind trotz geringer BS-Gehalte als anaerob stabil zu bezeichnen. Nach Abschluß der Milchsäuregärung trat kein Laktatabbau auf, und bis zur Auslagerung lag die zu Gärbeginn gebildete Buttersäure neben Milchsäure vor. Im Versuch mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz des Grünfutters kam es dann im Gärverlauf zum Laktatabbau.

Im Versuch mit schwer vergärbarem Gras-Leguminosen-Gemenge (GLG) des ersten Aufwuchses kam es unabhängig von der Clostridiensporenbelastung zum Laktatabbau. Während bei sauber geerntetem Grünfutter der Laktatabbau nach ca. 28 Gärungstagen einsetzte und Buttersäure bis ca. 5 % in TS gebildet wurde, kam es bei höherem Sporenbesatz sehr viel früher zur ausgedehnten BS-Bildung infolge Laktatabbau. Die BS-Gehalte erreichten Werte bis 10 % in TS.

Aus diesen Versuchen ist die Schlußfolgerung zu ziehen, daß die anaerob stabilen Silagen, die Buttersäure neben Milchsäure enthalten, selbst bei nur geringen BS-Gehalten äußerst kritisch zu werten sind. Das Risiko für weitere Clostridienvermehrung ist in diesen Silagen gegeben und im Zusammenhang mit den übrigen Gärungsbedingungen, nach TS und Z/PK, zu werten. Dieses Risiko ist um so größer, je geringer die Vergärbarkeit nach TS und Z/PK einzuschätzen ist und je höher der Clostridiensporenbesatz auf dem Grünfutter ist.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß es in allen Silagen des Grünfutters mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz von Gärbeginn an und teilweise in erheblichem Umfang zur BS-Bildung kam, obwohl auch hier in den ersten Gärungstagen Milchsäure gebildet und der pH-Wert abgesenkt wurde. Im weiteren Gärverlauf ist bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz des Grünfutters das Risiko einer starken Clostridienvermehrung gegeben, in deren Folge dann, offensichtlich weitgehend unabhängig von der Einschätzung der Vergärbarkeit, Laktat abgebaut werden kann. Die Höhe des Clostridiensporenbesatzes ist bisher nur als wenig bedeutsam eingeschätzt worden, da der Besatz im Siliergut normalerweise nur einen geringen Teil des gesamten Mikrobenbesatzes ausmacht (WOOLFORD, 1984; LINDGREN, 1985; PAHLOW, 1987; JONSSON, 1989). Die vorliegenden Ergebnisse zeigen jedoch, daß bei zusätzlicher Belastung des nitratarmen Grünfutters mit Clostridiensporen mit einer stärkeren BS-

Bildung, und damit mit einem höheren Fehlgärungsrisiko, als im sauber geerntetem Grünfutter zu rechnen ist.

Zur Klärung der Frage, wie sich eine Förderung der MS-Gärung bei erhöhtem Sporenbesatz im Gärsubstrat auswirkt, wurden die Versuche mit Zusatz von MSB-Präparaten auch bei Grünfutter mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz durchgeführt. Auch hier zeigten sich Unterschiede im Gärverlauf je nach Futterpflanzenart.

Der MSB- Zusatz bewirkte bei Silierung des zuckerreichen Knaulgrases vom ersten Aufwuchs, daß MS-Bildung gefördert und BS-Bildung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle eingeschränkt wurde. In den Verlaufsversuchen mit Knaulgras des zweiten Aufwuchses sowie mit dem GLG, 1. Aufwuchs, konnte ein MSB-Zusatz die MS-Bildung nicht mehr erhöhen. Es kam trotz Zusatz von MSB-Präparaten zur BS-Bildung von Gärbeginn an und, nahezu zeitgleich wie in der jeweiligen Kontrolle, zum Laktatabbau. Durch MSB-Zusatz kann Clostridienaktivität demzufolge, auch bei leicht vergärbarem Grünfutter, höchstens eingeschränkt werden.

Erst der Zusatz von Nitrat/ Nitrit konnte den Laktatabbau in Grünfutter geringer Sporenbelastung, erst recht jedoch bei erhöhtem Sporenbesatz, zuverlässig verhindern. In diesen Versuchen setzte in der jeweiligen unbehandelten Kontrollvariante trotz hohem MS-Gehalt mit entsprechend niedrigem pH-Wert Laktatabbau ein. Durch den Zusatz von Nitrat oder Nitrit waren die Silagen bis zur Auslagerung anaerob stabil. Es ist naheliegend anzunehmen, daß durch die zu Gärbeginn aus dem Nitrat-/ Nitritabbau frei werdenden Reduktionsprodukte (SPOELSTRA, 1983 und 1985) Clostridiensporen offensichtlich nachhaltig inhibiert wurden, so daß sie auch in späteren Gärungsstadien nicht mehr auskeimen konnten.

Im Versuch mit GLG bei erhöhtem Sporenbesatz wurde Laktatabbau dagegen bei Zusatz von Nitrat/ Nitrit im Vergleich zur Kontrolle nur zeitlich verzögert. Die Intensität der Stoffumsetzungen bei einem TS-Gehalt von ca.13 % war offensichtlich so hoch, daß die Konzentration an Nitrat/ Nitrit nicht ausreichte, um Clostridiensporen wirksam zu inhibieren und ein Auskeimen der Sporen nachhaltig zu unterbinden.

Die in den Versuchen, ohne und mit MSB-Zusatz, aufgetretenen umfangreichen Fehlgärungsprozesse sind charakterisiert durch stark steigende BS-Gehalte infolge Laktatabbau. Der Beginn des Laktatabbaus wurde je nach Versuch und Pflanzenart sowie Clostridiensporenbesatz zu sehr unterschiedlichen Zeitpunkten festgestellt. Es ergibt sich die Frage, welche Faktoren in erster Linie dafür verantwortlich sind, ob eine derartige Fehlgärung einsetzt.

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse ist es denkbar, daß Laktatabbau und damit Fehlgärung dann einsetzt, wenn die Konzentration an vergärbaren Kohlenhydraten im Gärverlauf stark abgesunken ist. Die wasserlöslichen Kohlenhydrate kommen offensichtlich in den ersten Gärungstagen auch als Gärsubstrat für die „Anfangs-BS-Bildung“ in Betracht und werden somit hauptsächlich durch Laktobakterien und durch Clostridien abgebaut. Ist der Gehalt an vergärbaren Kohlenhydraten im Verlauf der Gärung stark abgesunken, können saccharolytische Clostridien, seit Gärbeginn mehr oder weniger stoffwechselaktiv, auch bereits gebildetes Laktat als Nahrungsquelle nutzen. In den Versuchen insbesondere bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz des Grünfutters zeigte sich, daß der Laktatabbau um so später einsetzte, je höher der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten im Gärsubstrat und je niedriger die Gärungsintensität insgesamt war. Sobald Laktatabbau einsetzt und Laktat als Gärsubstrat für BS-Bildung dient, werden aus 2 Mol Laktat ein Mol Buttersäure gebildet (siehe Reaktionsgleichung 1, S.133). Durch diesen Fehlgärungsprozess steigt der pH-Wert im Gärsubstrat langsam an. Je höher der pH-Wert im Gärsubstrat ist, desto größer ist das Risiko, daß im weiteren Verlauf der Fehlgärung ev. vorhandene proteolytische Clostridiensporen auskeimen und Aminosäuren sowie Eiweiß abbauen.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß auch in nitratarmem Grünfutter die Substratbedingungen entscheidend dafür sind, ob die stabilisierend wirkende Aziditätsgrenze erreicht wird oder nicht. Diese stabilisierend wirkende Aziditätsgrenze kann erreicht werden, wenn genügend vergärbare Kohlenhydrate vorhanden sind und der pH-Wert soweit abgesenkt wird, daß zumindest proteolytische Clostridienaktivität unterdrückt wird. Bei sehr schneller und tiefer pH-Absenkung ist auch eine Ausschaltung von saccharolytischen Clostridien denkbar.

Wenn jedoch saccharolytische Clostridien zu Gärbeginn aufgrund des Fehlens von Nitrat nicht ausreichend gehemmt werden, kann im Unterschied zu nitrathaltigem Grünfutter in anaerob stabilen Silagen aus nitratarmem Grünfutter neben Milchsäure auch Buttersäure in geringem bis mittlerem Ausmaß vorliegen. Diese geringfügige BS-Bildung kann zum Stillstand kommen, wenn die stabilisierend wir-

kende Aziditätsgrenze erreicht wurde.

Ist das Substratangebot an leicht löslichen Kohlenhydraten dagegen nicht ausreichend, kann im weiteren Verlauf der Gärung bereits gebildetes Laktat abgebaut und Buttersäure in großem Ausmaß gebildet werden. Bei erhöhter Sporenbelastung ist das Risiko entsprechend höher. Die stabilisierend wirkende Aziditätsgrenze wird nicht erreicht.

Der Laktatabbau ist als äußerst kritisch einzuschätzen, da durch die Vergärung der konservierend wirkenden Milchsäure nicht nur die Stabilität der Silage gefährdet ist, sondern sich die unerwünschten BS-Bildner stark vermehren können.

Im Unterschied zu nitrathaltigem Grünfütter erreichten die BS-Gehalte in den Silagen des nitratarmen Grünfutters infolge Laktatabbau, unabhängig von der Höhe des Clostridiensporenbesatzes, ein ungewöhnlich hohes Ausmaß. Erst im Zusammenhang mit stark erhöhten BS-Gehalten weit über 2 % in TS wurden erhöhte und hohe Ammoniakgehalte über 10 %  $\text{NH}_3\text{-N}$  an Ges.-N nachgewiesen.

Dieses Gärproduktmuster ist mit dem Fehlen von Nitrat im Gärsubstrat zu erklären (siehe Abbildung 64). Beim Abbau von Laktat werden Wasserstoffionen frei, die im weiteren Reaktionsverlauf zur BS-Bildung führen, wenn kein geeigneter Elektronenakzeptor, wie z.B. das Nitrat, vorhanden ist (HEIN, 1970; HEIN und WEIßBACH, 1977). Bei den festgestellten Gärverläufen mit Laktatabbau wurde bei Abwesenheit von Nitrat demzufolge unmittelbar Buttersäure gebildet, womit sich die stark gestiegenen BS-Gehalte in den Silagen des nitratarmen Grünfutters bei gleichbleibend niedrigen ES-Gehalten erklären. Zunächst blieben auch die Ammoniakgehalte auf dem während der ersten Gärungsphase erreichten niedrigen Niveau. Solange Laktat das hauptsächliche Gärsubstrat war, entstand überwiegend Buttersäure, verbunden mit einem viel langsameren Anstieg der pH-Werte. Ammoniak kann in den Silagen aus nitratfreiem Grünfütter erst infolge des Abbaus von Aminosäuren und Eiweißen in späteren Gärungsstadien gebildet werden. Als Reaktionsprodukte des Aminosäuren-Abbaus über Desaminierung bzw. Stickland-Reaktion (Ohshima und McDonald, 1978) sind dann in der Fraktion der Gesamt- Buttersäure auch iso-Säuren und höhere Homologe der Buttersäure nachzuweisen.

Bei nitrathaltigem Ausgangsmaterial dagegen findet BS-Bildung erst dann statt, wenn Nitrat vollständig reduziert ist (HEIN, 1970). Durch die Verknüpfung von Laktatabbau und Nitratreduktion kommt es zur Ammoniakbildung, infolgedessen die Pufferwirkung im Gärsubstrat und der pH-Wert sehr schnell ansteigen. Im weiteren Verlauf der Fehlgärungsprozesse können dann auch Aminosäuren und Eiweiße abgebaut werden. Ammoniak ist hierbei demzufolge Reaktionsprodukt der Nitratreduktion, als auch des Aminosäuren- und Eiweißabbaus.

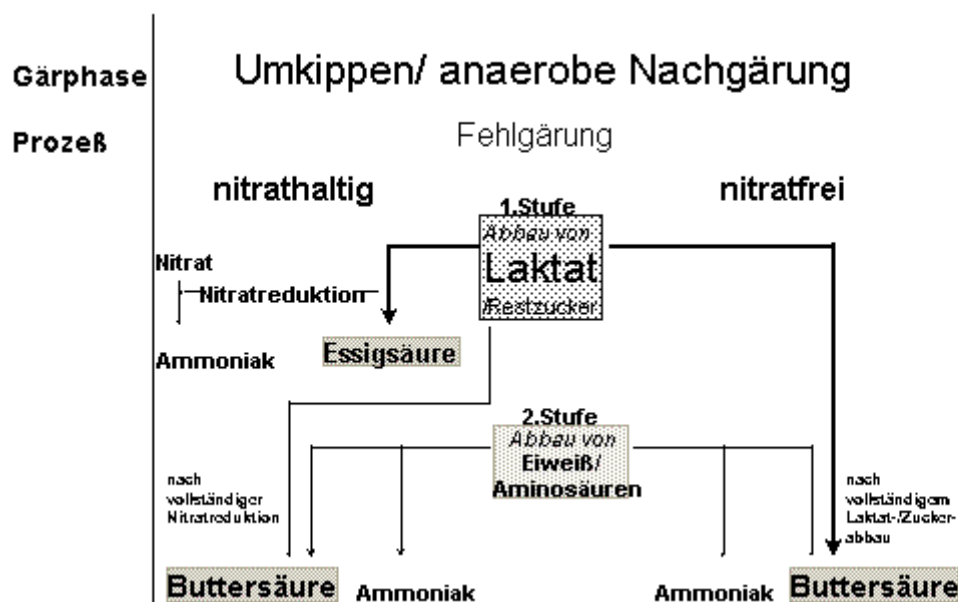


Abbildung 64: Fehlgärungsprozesse in nitrathaltigem und nitratfreiem Grünfütter

Zusammenfassend ist festzustellen, daß anaerob stabile und instabile Silagen aus nitratarmem Grünfütter in allen Stadien des Gärprozesses ein anderes Verhältnis zwischen Buttersäure und den übr-

gen Merkmalen des unerwünschten Stoffabbaus - Essigsäure, Ammoniak, pH-Wert - aufweisen als Silagen aus nitrathaltigem Grünfütter.

### 5.1.2 Zur Essigsäurebildung

Die ES-Gehalte in Silagen aus nitratarmem Grünfütter waren insgesamt bei allen Versuchen und Varianten sowohl im Gärverlauf als auch nach Auslagerung sehr niedrig, unabhängig von allen übrigen Parametern der Gärqualität. Als niedrig werden ES-Gehalte < 3,5 % in TS bezeichnet. Die bis zu dieser Höhe in den Silagen nachgewiesenen ES-Gehalte können durch verschiedene Mikroorganismen während des Gärprozesses zu Gärbeginn und in der Hauptgärung gebildet werden (MCDONALD et al., 1991). ES-Gehalte weit über 3,5% können bei der Silierung von nitrathaltigem Grünfütter als Folge von Fehlgärungen auftreten (HEIN, 1970; HEIN und WEIßBACH 1977, KAISER et al. 1987, KAISER und WEIßBACH 1989a und b). Eine Übersicht zur ES-Bildung während der Silierung zeigt Abbildung 65.

Als bedeutsam für die ES-Bildung aufgrund der Häufigkeit ihres Vorkommens in Silagen sind die Enterobakterien zu Gärbeginn (LINDGREN et al., 1985; LINDGREN et al., 1988; ROOKE et al., 1990) und die heterofermentativen Milchsäurebakterien im Verlauf der Gärung (MCDONALD et al., 1991) einzuschätzen.

Im Versuch mit Knaulgras des zweiten Aufwuchses blieben die ES-Gehalte auf dem Niveau der ersten Gärungstage. Im Versuch bei geringer Sporenbelastung wurde ca. 1%, bei erhöhtem Besatz ca. 1,5 % ES in TS nachgewiesen. Diese Essigsäure dürfte in erster Linie aus dem Stoffwechsel der Enterobakterien stammen. Diese fakultativ anaeroben Bakterien vermehren sich insbesondere während der ersten Gärungstage (BECK, 1966; LINDGREN et al., 1985; LINDGREN et al. 1988) und bilden in dieser Phase größere Mengen Essigsäure und Kohlendioxid. Mit dem Ansteigen der Milchsäuregärung und der damit verbundenen pH-Absenkung vermindert sich ihre Anzahl jedoch rapide, so daß von ihnen keine weitere Essigsäure gebildet wird.

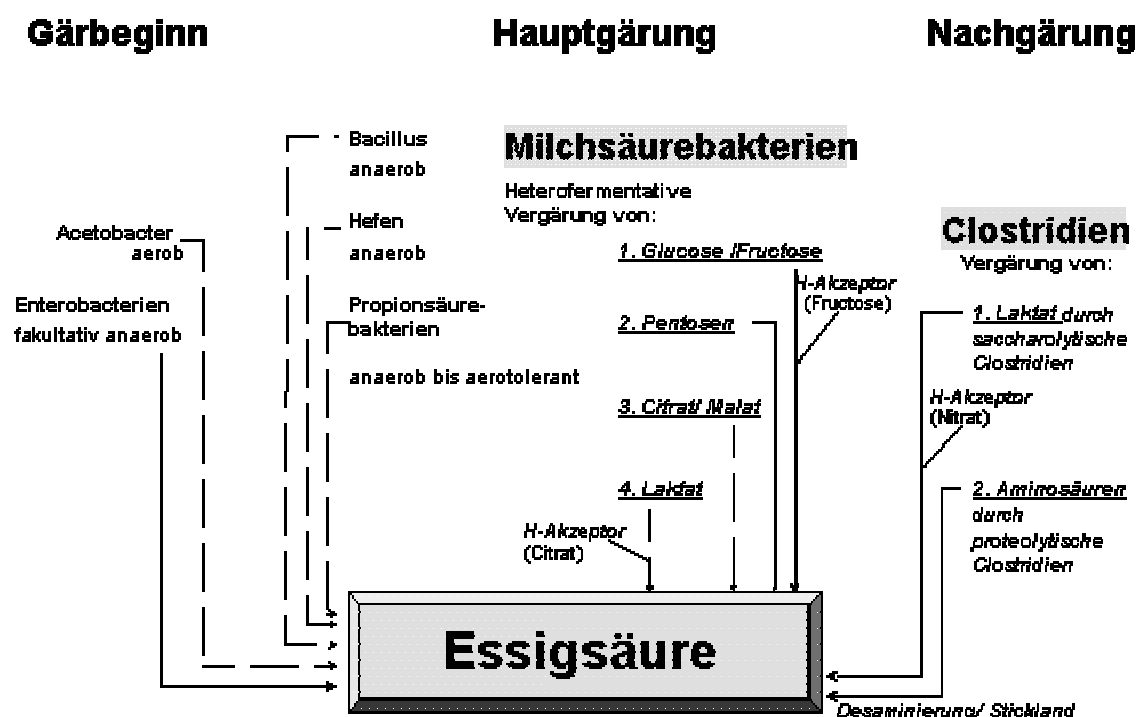


Abbildung 65: Zur Essigsäurebildung während der Silierung

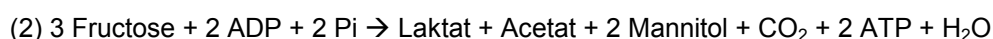
Im Gärverlauf von Knaulgras des ersten Aufwuchses und von GLG bei geringem und erhöhtem Clostridiensporenbesatz wurde auch nach den ersten Gärungstagen ein Ansteigen der ES-Bildung bis ca. 3 % festgestellt, die aus der heterofermentativen Milchsäuregärung kommen kann (MCDONALD et al., 1991). In welchem Umfang die heterofermentative Milchsäuregärung abläuft, ist abhängig vom Anteil

heterofermentativer Laktobakterien am epiphytischen Keimbesatz des Grünfutters und den Substratbedingungen (PAHLOW und HONIG, 1986; RUSER, 1989 a und b; MUCK, 1990a; PAHLOW und MÜLLER, 1990; MÜLLER, 1991).

In den vorliegenden Silierversuchen mit Knautgras und Schwingelarten aus unterschiedlichen Nutzungsvarianten war die Tendenz erkennbar, daß die mittleren ES-Gehalte in den Silagen beider Pflanzenarten vom ersten mit 0,6 % ES bis zum dritten Aufwuchs mit 1,5 % ES leicht angestiegen waren. Insbesondere die Silagen des zweiten Aufwuchses wiesen die höchsten Einzelwerte bis 2,8 % ES auf. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, daß im Verlauf der Vegetationsperiode eine Artenverschiebung zwischen homo- und heterofermentativen Milchsäurebakterien auf dem Grünfutter aufgetreten ist (Woolford, 1984; Fehrmann und Müller, 1991). Ruser (1989) konnte in ihren Untersuchungen feststellen, daß bei einer insgesamt geringen Artenzahl die homofermentativen Milchsäurebakterien im Frühjahr überwiegen. Im Vegetationsverlauf stieg der Anteil heterofermentativer Laktobazillen, die zum Herbst hin von Kokken abgelöst wurden.

Durch heterofermentative Milchsäurebakterien können verschiedene Kohlenhydratquellen vergoren werden. Neben Pentosen (MORRISON, 1979; McDONALD und WHITTENBURY, 1973), Citrat/ Malat (BRYAN-JONES, 1969) und Laktat (BECK, 1978; DRIEHUIS et al., 1996; OUDE ELFERING et al. 1999) kommen dafür hauptsächlich Hexosen aufgrund ihrer anteilmäßig höheren Gehalte im Grünfutter in Betracht. Sowohl Glucose als auch Fructose können als Substrat für die heterofermentative Milchsäuregärung genutzt werden, wobei das Konzentrationsverhältnis der Hexosen zueinander Reaktionsweg und Endprodukte beeinflusst (McCULLOUGH, 1978; McDONALD et al., 1991).

Mögliche Reaktionswege zeigen folgende Gleichungen (McDONALD et al., 1991):



Der Reaktionsweg (1) kann für die vorliegenden Versuche ausgeschlossen werden. Einerseits war in den Verlaufsversuchen mit verschiedenen Pflanzenarten, mit einer Ausnahme, kein Anstieg der Alkoholgehalte in Silagen nachzuweisen. Die Alkoholgehalte waren nur beim Versuch mit GLG bei geringem Clostridiensporenbesatz nach Abschluß der Hauptgärphase im Prozess des „Umkippens“ der Silage erhöht. Andererseits waren die Alkoholgehalte bei den Lagerungsversuchen mit Knautgras und Schwingelarten insgesamt sehr niedrig. Ein Anstieg der Alkoholgehalte in Silagen in Abhängigkeit des Aufwuchses oder der Pflanzenart vom Ausgangsmaterial konnte nicht festgestellt werden.

Bei der heterofermentativen Milchsäuregärung nach Reaktionsweg (1) ist das Verhältnis der Reaktionsprodukte Ethanol zu Acetat abhängig vom Oxidations-Reduktions-Potential des Systems (McDONALD et al., 1991). Eine Veränderung dieses Potentials könnte durch höhere Nitratgehalte im Gärsubstrat bewirkt werden. Wie die Ergebnisse gezeigt haben, hatten aber Zusätze von Nitrat/ Nitrit zum Siliergut keinen nachweisbaren Einfluß auf eine Erhöhung der Gehalte an Essigsäure und Alkohol, die im Vergleich zur Kontrolle eher eingeschränkt worden sind. Eine Beeinflussung der heterofermentativen Milchsäuregärung in Abhängigkeit vom Nitratgehalt kann mit den vorliegenden Versuchsergebnissen nicht nachgewiesen werden. Damit wird der Annahme von WEIßBACH und HAACKER (1988) widersprochen, die aus ihren Ergebnissen zur Silierung von Getreideganzpflanzen ableiteten, daß in Abhängigkeit vom Vorhandensein von Nitrat im Gärsubstrat die heterofermentative Milchsäuregärung zu unterschiedlichen Stoffwechselprodukten führt. Demnach soll bei Anwesenheit von Nitrat neben Laktat auch Acetat gebildet, bei Abwesenheit von Nitrat dagegen Laktat und Ethanol.

Für die vorliegenden Versuche ist anzunehmen, daß die heterofermentative Milchsäuregärung nach Gleichung (2) und/ oder (3) abgelaufen ist. Für beide Reaktionswege ist Voraussetzung, daß ein geeigneter Wasserstoffakzeptor zur Verfügung steht. Fructose kann als Akzeptor fungieren und wird dann zu Mannitol reduziert (BRYAN-JONES, 1969; McDONALD et al., 1991). Je mehr Fructose vorhanden ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, daß Acetat durch heterofermentative Milchsäuregärung gebildet wird. Der Fructosegehalt des Grünfutters konnte in den vorliegenden Untersuchungen nicht bestimmt werden. Es kann aufgrund vorliegender Ergebnisse aus der Literatur (MENDEL, 1991; HOPF, 1982) nur vermutet werden, daß das Grünfutter der zweiten und dritten Aufwüchse einen höheren Gehalt an Fructanen aufwies. Diese Fructane könnten in den Silagen aufgespalten worden sein



(KÜHBAUCH und KLEEBURGER, 1975; HOPF, 1982; MÜLLER und STELLER, 1995; MÜLLER und LIER, 1994; MERRY et al., 1995; WINTERS et al. 1998), so daß sich Fructose im Gärmedium anreicherte und sowohl als Wasserstoffakzeptor an den Stoffumsetzungen teilnehmen als auch vergoren werden konnte.

Eine Essigsäurebildung in späteren Gärungsstadien kann in anaerob instabilen Silagen aus nitrathaltigem Grünfütter infolge des Laktatabbaus ablaufen (siehe Abb.65, Nachgärung). Die Zusammenhänge zwischen Nitratreduktion und Gärungsverlauf in Silagen sind von HEIN (1970), dann auch von HEIN und WEIßBACH (1977), KAISER et al. (1987), KAISER und WEIßBACH (1989a und b) sehr eingehend diskutiert worden. Danach dient vorhandenes Nitrat als bevorzugter Wasserstoff- bzw. Elektronenakzeptor und es erfolgt nicht die Synthese von Butyrat, sondern Acetat.

Im Versuch mit GLG bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz und Zusatz von Nitrat/ Nitrit fand Laktatabbau statt. Die ES-Gehalte waren jedoch in diesen Zusatz-Varianten im Vergleich zur Kontrolle nicht wesentlich erhöht. Offensichtlich war das zugesetzte Nitrat/ Nitrit nicht als Wasserstoffakzeptor an den Umsetzungen beteiligt. Die ES-Gehalte waren jedoch im Gärverlauf in allen Varianten einschließlich der unbehandelten Kontrolle leicht angestiegen. Das legt die Schlußfolgerung nahe, daß die ES-Bildung in dem Falle auf Desaminierungs- bzw. Stickland- Reaktion durch proteolytische Clostridien zurückgeführt werden kann (siehe Abbildung 65). Beispielsweise wird aus den Aminosäuren Asparagin- und Glutaminsäure infolge einer Desaminierung Essigsäure gebildet oder auch aus Alanin und Glycin nach Oxidation bzw. Reduktion.

Bei Fehlen von Nitrat im Grünfütter waren die ES-Gehalte stets niedrig, selbst in anaerob instabilen Silagen, in denen es zum Laktatabbau gekommen war.

## 5.2 Zur Vergärbarkeit von nitratarmem Grünfütter

Die vorliegenden Ergebnisse mit sowohl unerwarteten Gärungsverläufen als auch unerwarteten Unterschieden zwischen Milchsäure- und Buttersäuregärung in Silagen aus nitratarmem Grünfütter bestätigen, daß die chemischen Parameter Trockensubstanzgehalt und Quotient aus wasserlöslichen Kohlenhydraten zu Pufferkapazität zur Einschätzung der Vergärbarkeit von Grünfütter allein nicht ausreichend sind. Der Gärungsverlauf und das Gärproduktmuster am Ende der Gärung sind offensichtlich auch von seinem epiphytischen Besatz an Milchsäurebakterien und dem Clostridiensporengehalt sowie dem Nitratgehalt abhängig.

Die Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, daß unter den Bedingungen einer eingeschränkten Nutzungsintensität und/ oder einer reduzierten Stickstoffdüngung mit dem Auftreten von nitratarmem Grünfütter zu rechnen ist.

Bei den verwendeten Grasbeständen des Versuchsstandortes Berge war keine Stickstoffdüngung vorgenommen worden, da zu Beginn der Versuche ein hoher Bodenstickstoffvorrat gemessen worden war. Die Stickstoffversorgung der Gräser erfolgte demnach im wesentlichen durch Mobilisierung des Stickstoffs aus dem Boden. Bei den Grasbeständen des Versuchsstandortes Blumberg wurde bezüglich der Düngung unterschiedlich verfahren. Das Grünfütter für die Gärverlaufsversuche wurde zu Vegetationsbeginn mit 70 kg N/ ha gedüngt. Im Gegensatz dazu wurde das Ausgangsmaterial für die Lagerungsversuche zur Untersuchung der Vergärbarkeit und Gärqualität bis auf eine Ausnahme nicht gedüngt. Bei diesem einen Grasmischbestand erfolgte eine Düngung mit 50 kg N/ ha jeweils zum ersten bis dritten Aufwuchs.

Wie aus dem Anstieg der Rohproteingehalte in den zweiten und dritten Aufwüchsen gegenüber dem ersten Aufwuchs bei den Beständen aus Berge abzuleiten ist, verfügte der Standort über ein gewisses Stickstoffnachlieferungsvermögen. Bei den Beständen aus Blumberg könnte der Anstieg der RP-Gehalte bei den ungedüngten 3-Schnitt-Varianten auch auf einen höheren Klee-Anteil zurückzuführen sein.

Das Grünfütter der ersten Aufwüchse ohne N-Düngung enthielt nur Rohproteingehalte zwischen ca. 40 und 100 g / kg TS . Die Rohproteingehalte in den zweiten und dritten Aufwüchsen wiesen ein mittleres Niveau auf. Die Stickstoffversorgung der Pflanzen war demnach im wesentlichen ausreichend.

Unabhängig davon, ob eine Stickstoffdüngung erfolgte oder nicht, war das Erntegut der untersuchten Pflanzenarten mit Werten unterhalb von 0,5 g Nitrat/ kg TS annähernd nitratfrei. Über ähnliche Ergebnisse berichtet RAMMER (1996), der vergleichbar niedrige Nitratgehalte in einem Grasmischbestand

von *Festuca prat.* und *Lolium perenne* fand, wenn zu Vegetationsbeginn nur 90 bzw. 102 kg N/ ha gedüngt wurden.

Erhebungen zur Höhe des Nitratgehaltes im Grünfutter unter Praxisbedingungen aus den Jahren 1994 bis 1999 (RUTZMOSE und SPANN, 1995; RUTZMOSE und KAISER, unveröffentlicht; THAYSEN und KAISER, unveröffentlicht; Jahresbericht, BLT, 1999) zeigten, daß unter Praxisbedingungen sehr häufig mit nitratarmem Grünfutter zu rechnen ist, nicht nur unter den typischen Bedingungen der Extensivierung.

Desweiteren liegen in der Literatur jedoch kaum systematisch gewonnene Angaben über den Nitratgehalt von Grünlandaufwüchsen unter den derzeit gegebenen Nutzungsbedingungen vor. Beziehungen zwischen dem Düngungsniveau und der Höhe des Nitratgehaltes sind bisher nur für hohe Nitratgehalte bekannt (NIENSTEDT, 1966). Diese Untersuchungen waren im Hinblick auf die Verfütterung von Interesse. Systematische Untersuchungen zum Auftreten nitratarmen Grünfutters sind bisher nicht durchgeführt worden.

### 5.2.1 Zur Vergärbarkeit nach TS und Z/PK in Abhängigkeit von Aufwuchs und Pflanzenart

Das zur Silierung verwendete Grünfutter wies in Abhängigkeit von Aufwuchs und Pflanzenart eine unterschiedliche Silierbarkeit nach VK, gemessen an den chemischen Parametern TS und Z/PK, auf. Die Untersuchungen führten jedoch zu dem Ergebnis, daß für die Einschätzung der Vergärbarkeit von nitratarmem Grünfutter die chemischen Parameter TS und Z/PK allein nicht ausreichend sind.

Bei allen untersuchten Pflanzenarten von *D.glom.*, *F.spec.* und den verschiedenen Grasmischungen waren die jeweils ersten Aufwüchse, auch bei Schnittverzögerung bis in den Juli hinein, mit größtenteils VK-Werten oberhalb von 45 als überwiegend leicht vergärbare eingeschätzt worden.

Diese hohen VK-Werte der ersten Aufwüchse sind insgesamt auf hohe bis sehr hohe TS-Gehalte im Ausgangsmaterial bei meist hohen Gehalten an wasserlöslichen Kohlenhydraten und einer geringen Pufferkapazität zurückzuführen. Ähnliche Ergebnisse wurden auch in der Literatur beschrieben, wonach gering oder kaum gedüngtes und / oder spät geschnittenes Gras meistens höhere TS-Gehalte, weniger Rohprotein und mehr Zucker aufweist (HEIN, 1970; PODKOWKA und POTKANSKI, 1991; Spatz et al., 1991; ELLES, 1989; PAHLOW et al., 1992; KEADY, et al., 2000).

Besonders hohe TS-Gehalte traten bei den ersten Aufwüchsen infolge der Schnittverzögerung auf, die bei der Einschätzung der Vergärbarkeit zu VK-Werten weit über 45 führten.

Bezüglich der Gehalte an wasserlöslichen Kohlenhydraten sind die ersten Aufwüchse als zuckerreich einzustufen. Bei Schnittverzögerung sanken die Gehalte in der Tendenz ab. Diese Ergebnisse stimmen mit Literaturangaben überein, nach denen die Gehalte an wasserlöslichen Kohlenhydraten im Frühjahr im allgemeinen höher sind als in den Sommermonaten (DIETRICH et al., 1976; DANIEL und OPITZ von BOBERFELD, 1987; HAIGH, 1990; PETTERSSON, 1990; MENGEL, 1991). Zwischen den einzelnen Versuchsjahren gab es zum Teil starke Schwankungen im Kohlenhydratgehalt des Grünfutters, die mit Vegetationsverlauf und Witterung in Zusammenhang standen. Die VK-Werte korrelierten zwar in erster Linie mit der Höhe des TS-Gehaltes, reagierten aber sehr stark auf drastische Änderungen der Gehalte wasserlöslicher Kohlenhydrate in Abhängigkeit der Witterung.

Der Rohproteingehalt als der primäre Verursacher der Pufferkapazität (WEIßBACH, 1998) war in den ersten Aufwüchsen sehr niedrig. Dementsprechend wies das Grünfutter nur sehr geringe Werte für die Pufferkapazität auf. KEADY et al. (2000) berichteten, damit übereinstimmend, von einer streng positiven Korrelation ( $P < 0,001$ ) zwischen u.a. pH-Wert und Pufferkapazität mit dem Rohproteingehalt des Grünfutters. Mit Schnittverzögerung des ersten Aufwuchses, und damit zunehmendem Pflanzenalter, war bei den vorliegenden Untersuchungen kaum eine Variabilität der Pufferkapazität festzustellen.

Die Änderung des Z/PK-Wertes, der als Maß für das Säuerungspotential angesehen wird (WEIßBACH, 1968), wurde demzufolge bei Schnittverzögerung überwiegend von der Höhe des Zuckergehaltes beeinflusst und verringerte sich dementsprechend in der Tendenz.

Trotz der überwiegend günstigen Beurteilung der ersten Aufwüchse bezüglich der Vergärbarkeit trat in allen Silagen BS-Gärung neben MS-Gärung auf. Selbst bei Silagen aus Grünfutter der VK-Klasse  $> 45$  lagen mit durchschnittlichen BS-Gehalten von 1,9 % bei *D.glom.*, 1,5 % bei *F.spec.* bzw. 1,3 % bei den Grasmischungen sehr hohe Werte vor. Auch andere Autoren berichten davon, daß trotz oftmals

hoher Vergärbarkeitskoeffizienten Buttersäure in nicht unerheblichem Ausmaß auftrat (PAHLOW, 1992; WEIßBACH et al., 1993; WYSS und VOGEL, 1995; PÖTSCH und RESCH, 1998; WYSS, 1999, JAAKKOLA et al., 1999).

Die zweiten und dritten Aufwüchse wurden in der Tendenz nach VK als mittelschwer und schwer vergärbar eingestuft. Die TS-Gehalte lagen meist unterhalb von 30 %. Da die Gehalte an wasserlöslichen Kohlenhydraten niedriger und die Pufferkapazität aufgrund gesteigerter Rohproteingehalte höher als bei den ersten Aufwüchsen waren, ergaben sich zudem deutlich niedrigere Z/PK-Werte für diese Folgeaufwüchse.

Es zeigte sich auch hier, daß vereinzelt nachgewiesene hohe Werte für VK mit außergewöhnlich hohen Gehalten an wasserlöslichen Kohlenhydraten korrelierten.

In den Silagen der Folgeaufwüchse trat meist ebenfalls Buttersäure neben Milchsäure auf. Die durchschnittlichen BS-Gehalte in den Silagen der zweiten und dritten Aufwüchse waren aber überwiegend geringer als bei den Silagen der ersten Aufwüchse. In einigen wenigen Silagen wurde keine Buttersäure nachgewiesen. Diese Ergebnisse waren insofern völlig unerwartet, da die ersten Aufwüchse nach VK als leicht vergärbar, die zweiten Aufwüchse im Gegensatz dazu mit VK-Werten des Ausgangsmaterials weit unterhalb von 45 als schwer und mittelschwer vergärbar eingeschätzt wurden.

Besondere Beachtung verdienen in diesem Zusammenhang auch die Versuche zum Gärverlauf von Knaulgras des ersten und zweiten Aufwuchses. Trotz der relativ hohen Zuckeranteile und einem VK von 61 und 64 im ersten Aufwuchs waren die MS-Gehalte der Silagen im gesamten Gärverlauf sehr niedrig und die BS-Gehalte mit 5 bis 6 % Buttersäure hoch, sowohl bei geringem und als auch bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz im Grünfutter. Dagegen wiesen die Knaulgrassilagen des zweiten Aufwuchses mit VK 36 bzw. 38 eine deutlich intensivere Milchsäuregärung und nur sehr geringe BS-Gehalte, trotz niedrigerer nachgewiesener Gehalte an wasserlöslichen Kohlenhydraten, auf.

Mit der Anthronmethode werden analytisch die Kohlenhydrate im Grünfutter bestimmt, die kaltwasserlöslich sind. Einerseits ist es möglich, daß in der Fraktion der WLKH bei der analytischen Bestimmung Inhaltsstoffe wie niedermolekulare Fructane erfaßt worden sind, die durch den epiphytischen MSB-Besatz nicht oder nur zu einem Teil zu Milchsäure vergoren werden können (SEYFARTH et al., 1993; RUSER und RUTHERFORD, 1999). Das könnte für die ersten Aufwüchse zutreffen, in denen trotz hoher Gehalte an wasserlöslichen Kohlenhydraten nur ein geringes Ausmaß der Milchsäurebildung nachzuweisen war. Andererseits gehen höherpolymere Kohlenhydrate, insbesondere Fructane und Hemicellulosen, bei der Kaltwasserextraktion nicht oder nicht vollständig in Lösung. Damit werden sie auch nicht als vergärbare Zucker (Z) erfaßt, könnten aber im Gärverlauf vergärbare Substrate, wie z.B. Fructose, Glucose, nachliefern. Das wäre eine Erklärung dafür, daß die Knaulgrassilagen des zweiten Aufwuchses mehr Milchsäure als die Silagen der ersten Aufwüchse enthielten. Nach Angaben in der Literatur (HOPF, 1982 und MENGEL, 1991) ist es sehr wahrscheinlich, daß die zweiten und dritten Aufwüchse der vorliegenden Untersuchungen größere Mengen an Fructanen enthielten.

Weiterhin könnten nach MORRISON (1979) durch polysaccharidspaltende Enzyme während der Silierung, wenn auch nur in mittlerem bis geringem Ausmaß, insbesondere Hemicellulose neben anderen Polysacchariden abgebaut und somit vergärbare Kohlenhydrate nachgeliefert worden sein. Demzufolge können sich Unterschiede in der Vergärbarkeit auch aus unterschiedlich hohen Gehalten und Abbauraten von Hemicellulosen ergeben. Nach Untersuchungen von GONZALEZ-YANEZ (1990) waren bis zu 40 % der Hemicellulose-Fraktion nach der Silierung nicht mehr nachzuweisen. Nach Untersuchungsergebnissen von DEWAR et al. (1963) ist jedoch auszuschließen, daß Laktobakterienstämme, isoliert von Silagen, diese Hemicellulaseaktivität zeigen. Die Höhe des Hemicellulosegehaltes in den verschiedenen Aufwüchsen der eigenen Untersuchungen kann nicht abgeschätzt werden.

Bei gleichem Schnitzeitpunkt, sowohl bei ersten als auch bei Folgeaufwüchsen, bestanden zwischen den Pflanzenarten *D.glom.* und *F.spec.* Unterschiede in der nach TS und Z/PK ermittelten Vergärbarkeit. Bei gleichem Schnitzeitpunkt waren weder TS-Gehalte noch RP-Gehalte und damit ebenso auch PK-Werte in Abhängigkeit der Pflanzenart wesentlich verschieden voneinander. Demzufolge sind die Unterschiede im VK-Wert, auch innerhalb einer VK-Klasse, auf unterschiedlich hohe Gehalte an wasserlöslichen Kohlenhydraten zurückzuführen. Die Festuca-Arten waren in der Tendenz zuckerreicher als *D.glom.*, womit ähnliche Befunde aus der Literatur (MORITZ, 1988) bestätigt werden konnten. Somit wiesen die Schwingelarten in der Tendenz günstigere Bedingungen für die Vergärbarkeit auf als das Knaulgras.

Wie die Ergebnisse zur Gärqualität der Silagen gezeigt haben, sind aber offensichtlich nicht allein die Unterschiede in der Vergärbarkeit zwischen den Futterpflanzen bedeutsam.

Bei gleicher Vergärbarkeit, gemessen an den VK-Werten, sind bei den Schwingelarten durchweg wesentlich höhere MS- und geringere BS-Gehalte aufgetreten als bei Knautgrassilagen. Auf diese Unterschiede weisen auch die Ergebnisse der Versuche bei Zusatz von Inoculantien hin. Während beim Knautgras ein leichter Rückgang der Buttersäuregehalte bei Verbesserung der Vergärbarkeit zu verzeichnen war, waren bei den Schwingelarten die BS-Gehalte in allen Vergärbarkeitsstufen annähernd gleich hoch, allerdings auf einem deutlich geringeren Niveau. Der Anteil BS-haltiger Silagen mit MSB-Zusatz war bei den Schwingelarten ebenfalls deutlich geringer als bei den vergleichbaren Knautgrasvarianten.

Dieses Ergebnis legt die Schlußfolgerung nahe, daß entgegen bisherigen Annahmen (WEIßBACH, 1968) wonach die Wirkung von TS und Z/PK-Quotient pflanzenarten-unabhängig ist, doch ein Einfluß der Pflanzenart vorliegt. Unter Berücksichtigung der in den Verlaufsversuchen festgestellten Ergebnisse ist es naheliegend anzunehmen, daß der Einfluß der Pflanzenart auf eine unterschiedliche Zusammensetzung und Vergärbarkeit der Fraktion der wasserlöslichen Kohlenhydrate zurückzuführen ist.

Aus der Literatur ist bekannt, daß arttypische Unterschiede im WLKH-Gehalt der Pflanzen hauptsächlich in der Fructanfraktion auftreten können (MORITZ, 1988).

Zusammenfassend ist festzustellen, daß ungeachtet der nach TS und Z/PK eingeschätzten Vergärbarkeit des Grünfutters in den meisten Silagen aller untersuchten Grünfütterarten Buttersäure aufgetreten war. Es bestand zumindest die Erwartung, daß bei der Silierung des Ausgangsmaterials mit hohen VK-Werten aufgrund eines hohen Säuerungspotentials und geringer Wasseraktivität überwiegend fehlgärungsfreie Silagen erzeugt werden können. Jedoch auch hier traten mehr oder weniger hohe BS-Gehalte in den Silagen auf.

Mit der Auswertung der mehrjährigen Silierversuche mit 180 Tagen Lagerungsdauer, verschiedener Standorte und Pflanzenarten, konnten die Ergebnisse der Untersuchungen zum Gärungsverlauf in nitratarmem Grünfutter bestätigt werden, wonach bei Fehlen von Nitrat als natürlichem Clostridieninhibitor unabhängig von der nach TS und Z/PK vorhergesagten Vergärbarkeit ein besonderes Risiko für das Auftreten von Buttersäure besteht. Desweiteren sind die Ursachen für ein unterschiedlich hohes Fehlgärungsrisiko auch im epiphytischen Keimbefall und im Clostridiensporengehalt zu suchen.

## 5.2.2 Zum natürlichen Laktobakterienbesatz in Abhängigkeit vom Aufwuchs

Die von den natürlichen Laktobakterien bewirkte MS-Gärung war in allen Versuchen, auch bei Zusatz von Nitrat und Nitrit, je nach Pflanzenart und Aufwuchs auf sehr unterschiedlichem Niveau.

In den vorliegenden Untersuchungen wurde ab 1996 der Gehalt an natürlichen Laktobakterien bestimmt. In diesen untersuchten Proben konnten Unterschiede zwischen den Pflanzenarten nicht nachgewiesen werden.

Das Grünfutter der ersten Aufwüchse der Versuchsjahre 1996 und 1998 wies bei allen untersuchten Pflanzenarten einen natürlichen Laktobakterienbesatz bis maximal  $10^3$  KBE / g FM auf. Bei den zweiten und dritten Aufwüchsen stiegen die Gehalte von  $10^3$  bis auf Werte von  $10^6$  KBE / g FM an. Alle Proben wurden bezüglich der Ernte- und Versuchstechnik gleich behandelt, so daß von einem signifikanten, mehr oder weniger starken Anstieg der Laktobakterienkeimzahlen der zweiten und dritten Aufwüchse gegenüber den ersten Aufwüchsen auszugehen ist.

Als Ursache kann angenommen werden, daß diese Erhöhung auf höhere Außentemperaturen und längere Aufwuchsdauer im Vergleich zum ersten Aufwuchs zurückzuführen ist, weniger durch die Bearbeitungsschritte Mähen oder Häckseln (Muck, 1990a; Spoelstra, 1993; Fenton, 1987). Auch andere Autoren (Weise, 1973; Lindgren et al., 1985; Holden, 1987; Ruser, 1989 a; Fehrmann und Müller, 1990; Pahlow, 1991; Lafreniere and Antoun, 1999) konnten bei Untersuchungen der epiphytischen Laktobakterienflora eine Zunahme der Keimdichte von Frühjahr bis Herbst ermitteln. Bereits Beck (1966) postulierte, daß mit zunehmender Reife die MSB-Population zunimmt, eventuell bedingt durch eine veränderte stoffliche Zusammensetzung der Wirtspflanze und des mikrobiell verfügbaren Nährstoffangebotes auf der Pflanzenoberfläche. Signifikant höhere Keimzahlen bei späteren Aufwüchsen fand auch Ruser (1989b) bei Gras einer späteren gegenüber einer früheren Sorte. Bei hoher Ein-

strahlung, aber niedrigen Temperaturen kann dagegen der epiphytische Besatz geringer sein, da beide Einflußfaktoren mit niedrigem MSB- Besatz korrelieren (Mundt, 1970; Lindgren et al. 1983; Woolford, 1984; Muck, 1989; Ruser, 1989a, b). Damit sind die auch vereinzelt bei den zweiten und dritten Aufwüchsen vorkommenden niedrigen Gehalte an Laktobakterien unter 105 KBE/ g FM zu erklären.

Bei den Untersuchungen zur Gärqualität von Silagen nach 180 Tagen Lagerungsdauer hatte sich gezeigt, daß die Silagen der zweiten und dritten Aufwüchse gegenüber den ersten Aufwüchsen höhere ES-Gehalte aufwiesen. Das könnte ein Hinweis darauf sein, daß der Anteil heterofermentativer Milchsäurebakterien im Vegetationsverlauf zugenommen hatte.

Auf ähnliche Ergebnisse verweisen auch andere Autoren (WOOLFORD, 1984; RUSER, 1989a, b; FEHRMANN u. MÜLLER, 1991). Nach MÜLLER et al. (1993) kann die Verschiebung in der Gattungszusammensetzung aus einer differenzierten Osmotoleranz der einzelnen MSB-Arten und Gattungen resultieren. Die Autoren untersuchten die quantitativen Veränderungen des epiphytischen Keimbesatzes beim Anwelken von Futtergräsern und stellten fest, daß beim Welken innerhalb der MSB-Populationen der Anteil homofermentativer Laktobakterien (*L.plantarum*) zunahm, hingegen der Anteil heterofermentativer Arten reduziert wurde. Das bedeutet, daß heterofermentative Milchsäurebakterien eine geringere Osmotoleranz aufweisen, d.h. erst bei höherer Feuchte in der Keimdichte zunehmen. Damit übereinstimmend sind die Ergebnisse der eigenen Untersuchungen, daß bei zweiten und dritten Aufwüchsen, die deutlich geringere TS-Gehalte im Vergleich zu den ersten Aufwüchsen aufwiesen, mehr Essigsäure durch heterofermentative MS-Gärung gebildet worden ist.

Auf Unterschiede bezüglich Höhe und Zusammensetzung des Epiphytenbesatzes in Abhängigkeit von Vegetationsverlauf und Witterung deuten die vorliegenden Ergebnisse hin, daß zwischen den vier Versuchsjahren mit Knaulgras und Schwingelarten bei gleicher Ernte- und Versuchstechnik, annähernd gleichen Schnittterminen und gleicher Pflanzenart deutliche Unterschiede sowohl in der Höhe der BS-, aber vor allem auch der MS-Gehalte bestehen.

Nach RUSER (1989b) weisen Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit unterschiedliche Beziehungen zur Keimdichte und zum Populationsaufbau auf. Sie fand, daß eine hohe Keimdichte mit überwiegend homofermentativen Milchsäurebakterien bei hohen Temperaturen in Verbindung mit einer niedrigen relativen Luftfeuchtigkeit auftrat. Dagegen wurde eine hohe Keimdichte mit überwiegend heterofermentativen Milchsäurebakterien bei niedrigen Temperaturen und hoher relativer Luftfeuchtigkeit festgestellt.

Ähnliche Tendenzen zeigten sich bei den eigenen Versuchen. So war im Versuchsjahr 1996 vor allem am Standort Berge eine feucht-kühle Witterung vorherrschend. In den Silagen der Aufwüchse von 1996 traten auffällig hohe MS-Gehalte bei niedrigen BS-Gehalten auf. Die mittleren ES-Gehalte, insbesondere der zweiten Aufwüchse, waren im Vergleich zu den anderen Versuchsjahren am höchsten. Das weist auf eine heterofermentative MS-Gärung hin.

Letztlich ist die Veränderung des Gattungsspektrums der Keimpopulation insgesamt von einer Vielzahl von Faktoren wie Temperatur, Lichteinstrahlung, Witterung allgemein, Vegetationsstadium, Gärsubstratangebot, TS-Gehalt abhängig und in erster Linie jahreszeitlich bedingten Änderungen unterworfen (DAESCHEL et al., 1987; RUSER, 1989 b; MÜLLER, 1991). Aus den vorliegenden Untersuchungen konnten nur einige Tendenzen abgeleitet werden, eine Vorhersage ist nicht möglich.

Es erhebt sich die Frage, welche Bedeutung die Höhe und Zusammensetzung der Laktobakterienpopulation für die Vergärbarkeit hat.

Während in den Silagen der ersten Aufwüchse BS-Gärung in teilweise erheblichem Umfang stattgefunden hatte, traten die wenigen BS-freien Silagen im Rahmen des umfangreichen, mehrjährigen Untersuchungsprogramms nur bei nach VK schwer vergärbarem Grünfutter der zweiten bzw. dritten Aufwüchse auf. Der Clostridiensporenbesatz war bei ersten und Folgeaufwüchsen extrem niedrig. Ähnliche Ergebnisse erhielt JONSSON (1991) in Silierversuchen mit Lieschgras und Wiesenschwingel. Die Silagen vom zweiten Aufwuchs Mitte August waren hierbei sogar trotz Zusatz von Clostridiensporen sehr gut fermentiert.

Die Silierung des ersten Aufwuchses von Futtergräsern wird von einigen Autoren als unsicher eingeschätzt (WEISE, 1973; LINDGREN et al. 1985; FEHRMANN und MÜLLER, 1990), da sich im Frühjahr meist noch keine stabile epiphytische Laktobakterien-population mit hohem Anteil an säurebildungsaktiven homofermentativen Laktobakterien etabliert hat.

Die Versuchsergebnisse, nach denen BS-freie Silagen aus nitratarmem Grünfutter bei zweiten und dritten Aufwüchsen trotz niedriger VK-Werte vorlagen, deuten darauf hin, daß die MSB-Population der

Folgeaufwüchse nicht nur im günstigsten Fall eine höhere Keimzahl aufwies, sondern auch als gesamte Population infolge besserer Adaption stabiler war. Wenn Milchsäurebakterien sich dann gegenüber Clostridien als Nahrungskonkurrenten durchsetzen, kann eine Silage im Einzelfall, trotz nach VK schlechter Vergärbarkeit, BS-frei sein.

Im Zusammenhang mit dem Auftreten BS-freier Silagen bei zweiten und dritten Aufwüchsen ist jedoch nicht nur die Wirkung eines höheren Laktobakterienbesatzes und einer stabilen Population zu diskutieren, sondern auch die Änderung der Populationszusammensetzung mit den entsprechenden Folgen im Verlauf der Vegetation zu berücksichtigen.

LAFRENIERE und ANTOUN (1999) berichteten von Untersuchungen zum Einfluß der epiphytischen Laktobakterien auf Silierung und Gärqualität. Sie fanden die höchsten ES-Gehalte und die niedrigsten BS-Gehalte in Silagen, wenn der Anteil heterofermentativer im Vergleich zu homofermentativen Milchsäurebakterien auf dem Ausgangsmaterial zur Silierung deutlich höher war. Damit übereinstimmend sind die Ergebnisse von JONSSON (1991) zu werten, der nachwies, daß hohe Konzentration und Gemische von Milchsäure, Essigsäure und Ameisensäure die meisten Stämme von Clostridien bei pH-Werten über 5,0 inhibieren. Auch CHLEVICKAS et al. (1990) konnten in Laborversuchen mit kombinierten Silierzusätzen feststellen, daß höchstwahrscheinlich ES-Zusätze BS-Gärung unterdrücken können. Bereits DE VUYST et al. (1973) fanden eine positive Beeinflussung des Gärungsverlaufes von Luzerne und Weidelgras durch Zusatz von Essigsäure.

Das Ergebnis der vorliegenden Untersuchungen zum Gärproduktmuster der Silagen zweiter und dritter Aufwüchse mit höheren ES- und MS-Gehalten bei tendenziell niedrigeren BS-Gehalten gegenüber ersten Aufwüchsen legt die Schlußfolgerung nahe, daß heterofermentative Laktobakterien, wenn auch in geringer Keimdichte vorhanden, einen Effekt auf die Unterbindung von Clostridienaktivität aufgrund der gebildeten Essigsäure haben. Für gesicherte Aussagen sind dazu weitere Untersuchungen notwendig.

Auf eine andere, mögliche Ursache wies WEIßBACH (1998) bei seinen Untersuchungen zum Gärverlauf von Wiesenkräutern hin. Er vermutet, daß unabhängig vom Epiphytenbesatz eventuell sekundäre Pflanzenstoffe bestimmter Kräuterarten den Abbau von Laktat und die Bildung von Buttersäure unterdrücken könnten, so daß in Silagen aus nitratarmem, nach VK schlecht vergärbarem Grünfutter mit wenig Epiphytenbesatz keine Buttersäure auftritt.

### 5.2.3 Zur Bedeutung des Welkens für die Silierung von nitratarmem Grünfutter

Nachfolgend soll die Frage diskutiert werden, welche Wirkung eine Veränderung der Substratbedingungen infolge Welkens auf den Gärverlauf in nitratarmem Grünfutter hat.

In den vorliegenden Versuchen war Buttersäure in Silagen aus Grünfutter mit hohen VK-Werten und überwiegend TS-Gehalten über 35 % in erheblichem Ausmaß aufgetreten. Diese hohen TS-Gehalte wurden in Grünfutter des ersten Aufwuchses, meist bei Schnittverzögerung, nachgewiesen. Silierversuche mit gewelktem Ausgangsmaterial wurden nicht durchgeführt. Grünfutter mit hohen TS-Gehalten ist mit gewelktem Ausgangsmaterial zur Silierung nur bedingt vergleichbar. Hinsichtlich der Einschränkung der Wasseraktivität sind jedoch ähnliche Verhältnisse anzunehmen, so daß ein möglicher Effekt des Welkens trotzdem diskutiert werden soll.

Nach WOOLFORD (1984) ergibt sich der Einfluß des TS-Gehaltes auf die mikrobiellen Umsetzungen daraus, daß das Ausmaß der Gärungsintensität positiv korreliert mit der physiologischen Verfügbarkeit von Wasser ( $a_w$ -Wert). Voraussetzung für das Wachstum der Mikroorganismen ist aber sowohl eine bestimmte Wasseraktivität ( $a_w$ -Wert) als auch Verfügbarkeit von Nährstoffen (WOOLFORD, 1984). Sobald die Pflanzenzelle nach Einsilierung zusammenbricht, steht den Mikroorganismen das im Zellsaft gelöste Gärsubstrat zur Verfügung (LANIGAN, 1963; GREENHILL, 1964a). Mit steigendem TS-Gehalt werden jedoch die Enzyme inhibiert, die die Pflanzenzellen zerstören (HENDERSON, 1991). Aufgrund der geringeren Verfügbarkeit von Gärsubstrat und Wasser werden Gärungsprozesse gehemmt (GREENHILL, 1964b; WILSON, 1985). Mit der Einschränkung der Verfügbarkeit von Wasser ist die Herabsetzung der Wasseraktivität, die auf die höhere Konzentration von osmotisch wirksamen Stoffen zurückzuführen ist, verbunden (GREENHILL, 1964c; WEIßBACH, 1968).

In den vorliegenden Untersuchungen war der Milchsäure-, aber auch der Gesamtsäure-Gehalt in der Tendenz um so niedriger, je höher die VK-Klasse war. Mit steigendem TS-Gehalt des Grünfutters sanken zwar die MS-Gehalte in den Silagen, jedoch war das Ausmaß der MS-Gärung höher als das der BS-Gärung. Milchsäurebakterien können sich aufgrund einer höheren Osmotoleranz im Gegensatz zu den BS-Bildnern noch bei relativ hohen TS-Gehalten entwickeln (WOOLFORD, 1984). Mit steigenden TS-Gehalten werden Clostridien vergleichsweise stärker gehemmt (WOOLFORD, 1984; SPOELSTRA, 1990). Mit den nachgewiesenen Gehalten von durchschnittlich 1,8 % Buttersäure bei Knaulgras, 1,3% Buttersäure bei Schwingelarten und 1,7 % Buttersäure in TS bei den Grasmischungen lagen jedoch auch in dem TS-reichen Grünfutter relativ hohe Gehalte an Buttersäure vor. BS-Gärung fand in dem nach TS und Z/PK leicht vergärbaren Ausgangsmaterial trotz MS-Gärung statt. Das Ausmaß der BS-Gärung wurde aber mit zunehmendem VK-Wert geringer.

Für eine wirksame und nachhaltige Unterdrückung der BS-Bildung in Silagen aus nitratarmem Grünfutter ist nach vorliegenden Befunden das Welken als nicht ausreichend einzuschätzen. Eine durch das Welken bedingte Einschränkung der mikrobiellen Aktivität kann jedoch bewirken, daß in diesen Silagen deutlich mehr Milchsäure im Verhältnis zur Buttersäure gebildet wird. Im Vergleich zum nicht gewelkten Grünfutter muß der pH-Wert nicht so weit abgesenkt werden, um die stabilisierend wirkende Aziditätsgrenze zu erreichen. Die „Anfangs“-Buttersäuregärung kann zwar nicht sicher unterbunden werden, kommt aber im weiteren Verlauf der Gärung zum Stillstand. Derartige Silagen mit geringen bis mittleren BS-Gehalten neben mehr oder weniger hohen MS-Gehalten bleiben somit im Gärverlauf eher anaerob stabil, so daß weitere Fehlgärungen mit starker Clostridienvermehrung hinausgezögert werden können.

### 5.3 Zur Siliermittelwirkung

#### 5.3.1 Zum Einsatz von Inoculantien

Nach bisherigem Kenntnisstand geht man davon aus, daß Fehlgärungen durch Säuerung in sehr kurzer Zeit bis zu einem hinreichend tiefen pH-Wert vermieden werden können. Wie schnell und wie weit der pH-Wert abgesenkt werden kann, ist nach dieser Auffassung im wesentlichen vom Z/PK-Quotienten abhängig. Die Intensität der Säuerung wird außerdem von Anzahl und Leistungsfähigkeit der Milchsäurebakterien bestimmt.

Bei schwer vergärbarem Grünfutter lagen bei beiden Pflanzenarten mittlere, vergleichbare MS-Gehalte in Kontroll- und MSB-Zusatzvarianten vor. Der Zusatz von Inoculantien zu Grünfutter höherer Vergärbarkeit und höherer TS-Gehalte führte dazu, daß die durchschnittlichen MS-Gehalte in Silagen aus mittelschwer und leicht vergärbarem Grünfutter, *D.glom.* und *F.spec.*, im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle deutlich erhöht waren. Die zugesetzten homofermentativen MSB-Stämme waren offensichtlich gegenüber geringer Wasseraktivität im Substrat sehr tolerant (LANIGAN, 1963; MÜLLER et al., 1993; DRIEHUIS et al., 1997; RUSER und Rutherford, 1999).

Silagen mit extrem hohen BS-Gehalten über 4 % traten zwar nur in nach VK schwer vergärbarem Grünfutter mit VK < 35 auf. Trotz der durch MSB-Zusatz wesentlich erhöhten Säuerung in Silagen aus mittelschwer und leicht vergärbarem Grünfutter wurde Clostridienaktivität auch hier nicht vollständig unterbunden. Diese Ergebnisse zeigen auch, daß offensichtlich die Säuretoleranz der Clostridien in Abhängigkeit der Substratbedingungen viel höher ist, als bisher angenommen wurde.

Bei VK-Werten oberhalb von 35 vorliegende BS-Gehalte bis 0,9 % im Mittel bei den Schwingelarten und bis 1,5 % im Mittel bei den Knaulgrassilagen sind Ausdruck einer unzureichenden Wirkung der MSB-Präparate. Insgesamt ist bei den hier vorliegenden Untersuchungen bei VK-Werten oberhalb 35 mit Anteilen BS-haltiger Silagen von 55 bis 65 % bei den Schwingelarten und 71 bis 81 % bei den Knaulgrassilagen kein nachhaltiger Effekt des MSB-Zusatzes zur Ausschaltung von Fehlgärungen in nitratarmem Grünfutter gefunden worden. Das ist bemerkenswert, da in sehr vielen Fällen Grünfutter mit ausreichend hohen Gehalten an WLKH bei geringer Pufferkapazität vorgelegen hatte. Die Ergebnisse weisen darauf hin, daß bei Fehlen eines natürlichen Inhibitors Clostridien durch mangelnde Wasserverfügbarkeit und Säuerung zwar eingeschränkt, jedoch nicht wirksam gehemmt werden.

PAHLOW et al. (1992) prüften den Einsatz von Impfpräparaten bei der Silierung von Gras aus Extensivherkünften mit Nitratgehalten unter 1g/ kg TS und kamen zu vergleichbaren Ergebnissen. Auch andere Autoren berichten davon, daß bei hohen Gehalten an homofermentativen Laktobakterien im Siliergut eine Qualitätssilage nicht in jedem Falle hergestellt werden konnte (MÜLLER et al., 1991). Sie

gaben als mögliche Erklärung dafür an, daß das Säurebildungsvermögen der Laktobakterien dafür verantwortlich sei. RUSER und RUTHERFORD (1999) testeten 235 verschiedenen Stämme von Laktobakterien unter Laborbedingungen und verweisen im Ergebnis dieser Untersuchungen darauf, daß zwischen den einzelnen Stämmen große Unterschiede in der Osmotoleranz, der Fähigkeit zur pH-Absenkung und in der Nutzbarkeit der vorhandenen Zuckersubstrate bestehen, so daß nur einige wenige Milchsäurebakterien die geeigneten Eigenschaften als Silierzusätze aufweisen.

Untersuchungen von PAHLOW und WEIßBACH (1996) zum Einsatz von Inoculantien bei Grassilagen sowie Versuche von POPEDNOV u.a. (1997) ergaben, daß der Effekt der Inoculantien hinsichtlich der Säuerungsgeschwindigkeit mit dem TS-Gehalt stieg. Als Maß der Säuerungsgeschwindigkeit wurde die Differenz des pH-Wertes zwischen Grünfutter und Silage nach drei Tagen Lagerungsdauer genutzt. Weißbach (1998) ermittelte die mögliche Abhängigkeit des Impfeffektes von den Parametern der Vergärbarkeit mit Regressionsrechnungen aus Untersuchungen zur Silierung von Wiesenkräutern. Er kam zu dem Ergebnis, daß der Impfeffekt weder von der Pufferkapazität noch vom Gärsubstratangebot (Z/PK) abhängig ist. Nur der TS-Gehalt des Siliergutes beeinflusste den Impfeffekt dahingehend, daß mit steigendem TS-Gehalt der Effekt der Inoculantien stieg.

In den vorliegenden Untersuchungen zeigte sich in der Tendenz ebenfalls, daß mit zunehmendem TS-Gehalt des Grünfutters bei Zusatz von Milchsäurebakterien deutlich mehr Milchsäure gebildet wurde. Wie aus den eigenen Untersuchungen jedoch weiterhin abgeleitet werden kann, ist die Säuerung zu einem ausreichend tiefen pH-Wert in möglichst kurzer Zeit zwar notwendige Voraussetzung, um Fehlgärungen zu vermeiden. Die Unterbindung von Clostridienaktivität, d.h. die Bildung von Buttersäure, kann aber in Silagen aus nitratarmem Grünfutter allein durch die Erhöhung der Säuerungsgeschwindigkeit bei Milchsäurebakterienzusatz nicht sicher ausgeschlossen werden.

JONSSON (1991) konnte aus seinen Untersuchungen schlußfolgern, daß Stämme von *Clostridium tyrobutyricum*, die allgemein in der Silage am häufigsten nachgewiesen wurden, durch 0,5 % ige Milchsäure bei pH-Werten von 4,7 bis 4,9 und einer optimalen Temperatur von 37°C inhibiert werden. Ähnliche Ergebnisse erzielten auch THYLIN et al. (1995). Über eine mögliche Inhibierung bzw. deren Ausmaß bei niedrigeren Temperaturen wurden von Jonsson (1991) keine Angaben gemacht. Untersuchungen von ZIERENBERG et al. (1998) an verschiedenen Pflanzen mit und ohne MSB-Zusatz zum Einfluß der Fermentationstemperatur auf die Stoffwechselleistungen von Milchsäurebakterien zeigten jedoch, daß die optimale Fermentationstemperatur bei 35°C liegt. Unter diesem Optimum liegende Temperaturen führten in Abhängigkeit von der Temperaturabweichung zu einer Verlangsamung der Ansäuerung, wobei Unterschiede zwischen den einzelnen Präparaten besonders bei niedrigen Temperaturen auftraten.

Aus Versuchsergebnissen zum Einfluß von pH-Wert und Milchsäurekonzentration auf das Wachstum von *C.tyrobutyricum* schlußfolgerten THYLIN et al. (1995), daß der Einfluß von Temperatur und Ionenstärke des Gärsubstrates auf den inhibitorischen Effekt der Milchsäure unbedingt zu berücksichtigen ist. Die Autoren verweisen darauf, daß beide Faktoren das Verhältnis von dissoziiertem zu undissoziiertem Anteil der Milchsäure, wobei letztere als eigentlicher Inhibitor gilt (ADAMS und HALL, 1988; JONSSON, 1989; LINDGREN und DOBROGOSZ, 1990) in starkem Maße beeinflussen. Bei einer Temperatur von 37°C fanden sie im Vergleich zu 25°C mehr undissoziierte Milchsäure. Das Fazit dieser Untersuchungen war, daß nur bei sehr schnellem pH-Abfall und einer intensiven Milchsäuregärung, von Gärbeginn an, die Aktivität von *C.tyrobutyricum* wirksam inhibiert werden konnte.

Die vergleichsweise geringere Lagerungstemperatur von 25 °C unterhalb des o.g. Temperaturoptimums bei den eigenen Laborsilierungsversuchen kann dazu geführt haben, daß durch MSB-Zusatz keine vollständige Inhibierung, sondern nur eine Einschränkung des Clostridienwachstums erfolgte. In der Praxis herrschen häufig noch geringere Lagerungstemperaturen unterhalb von 25°C vor. Das könnte als weitere Ursache dafür angesehen werden, daß der Zusatz leistungsfähiger, homofermentativer Milchsäurebakterien nicht in jedem Falle sicher wirkt. Die vorliegenden Ergebnisse können, ähnlich wie bei THYLIN et al. (1995), so gewertet werden, daß die notwendige Konzentration an Milchsäure zur Unterdrückung von Clostridienaktivität viel höher sein muß, als bisher angenommen wurde.

Von anderen Autoren wird dagegen der MSB-Einsatz zur Unterdrückung von Buttersäuregärung bei der Silierung von nitratarmem Grünfutter als wirkungssicher gewertet. Nach WEIßBACH und HONIG (1996) und WEIßBACH (1998) soll ein epiphytischer Milchsäurebakterienbesatz von  $> 10^5$  KBE/ g FM ausreichend sein, um bei VK-Werten  $> 35$  das Auftreten von Buttersäure in Silagen aus nitratarmem Grünfutter weitgehend zu verhindern. In den eigenen Untersuchungen kamen Inoculantien zum Einsatz, die mit einer Impfdichte von mindestens  $10^5$  KBE/ g FM zugesetzt wurden. Damit wurde der Siliermittelempfehlung für eine zweckmäßige Inoculationsdichte zur Erzielung BS-freier Silagen entspro-



chen. Eine mögliche Ursache für den Unterschied zwischen den Ergebnissen könnte zum einen darin liegen, daß in den Untersuchungen der genannten Autoren die Auswertung nach der Höhe des epiphytischen Milchsäurebakterienbesatzes erfolgte.

Beim Einsatz von Inoculantien wird zwar allgemein davon ausgegangen, daß der gleiche Effekt erzielt wird wie mit der natürlichen Milchsäurebakterienflora. Möglicherweise bestehen jedoch Unterschiede zwischen Impfpräparaten und einer natürlichen Laktobakterienflora, die u.U. an die Substratbedingungen besser adaptiert ist. Andererseits haben die zitierten Autoren ihre Schlußfolgerungen nur aus einer Auswertung nach dem Auftreten von Buttersäure ( $> 0,3\%$  in TS) gezogen. Aus der Untersuchung geht nicht hervor, wie hoch die BS-Gehalte in den Silagen waren. Der Anteil BS-haltiger Silagen bzw. BS-freier Silagen als Maßstab für die Wirksamkeit des epiphytischen MSB-Besatzes ist für den Vergleich der Ergebnisse nicht ausreichend.

Wie die eigenen Untersuchungen zum Einsatz von Inoculantien ausweisen, ist eine Förderung der Säuerung zu Gärbeginn, wie sie ein MSB-Zusatz mit mind.  $10^5$  KBE/ g FM darstellt, bei der Silierung von nitratarmem Grünfutter allein nicht ausreichend. Die BS-Bildung konnte dabei zwar eingeschränkt, nicht aber unterbunden werden, unabhängig von der Vergärbarkeit des Grünfutters nach VK.

### 5.3.2 Einsatz von Ameisensäure

Der Zusatz von Ameisensäure führte zu unerwarteten Gärverläufen. Bei den Versuchen mit geringem Sporenbesatz wurde durch die zugesetzte Ameisensäure zwar der pH-Wert abgesenkt, jedoch gleichzeitig die MS-Gärung nahezu vollständig ausgeschaltet.

Ähnliche Ergebnisse wurden bereits in Versuchen von WILSON (1985), der Ausdauerndes Weidelgras mit Ameisensäure silierte, gefunden und eine insgesamt stark begrenzte Fermentationstätigkeit festgestellt.

In den vorliegenden Versuchen mit AS-Zusatz wurde zudem kaum ein Abbau wasserlöslicher Kohlenhydrate nachgewiesen. WILSON (1985) fand sogar bei AS-Zusatz steigende Gehalte an wasserlöslichen Kohlenhydraten. KEADY et al. (1994) führten vergleichbare Ergebnisse nicht nur auf eine stark eingeschränkte Fermentation, sondern auch auf Hydrolyse höherpolymerer Kohlenhydrate sowie Inhibierung der Respiration durch die Ameisensäure zurück.

Bei den Versuchen der vorliegenden Arbeit mit erhöhtem Sporenbesatz setzte MS-Gärung nach 2-4 Wochen in den Silagen mit AS-Zusatz ein und erreichte nach 180 Tagen MS-Gehalte zwischen 1,4 und 5,7 % in TS. Unabhängig von Sporenbesatz und Höhe der MS-Gehalte kam es jedoch auch hier zur BS-Bildung. Offensichtlich waren sowohl die bakteriostatische Wirkung der Ameisensäure als auch die Säuerung nicht ausreichend, um Fehlgärungen auszuschalten.

Mit einer Häufigkeit von ca. 50 % BS-haltiger Silagen bei Grünfutter der VK-Klasse  $> 45$  und mittleren BS-Gehalten bis 1% in TS ist noch ein hohes Fehlgärungsrisiko gegeben.

PAHLOW et al. (1992) prüften den Einsatz von Ameisensäure bei der Silierung von Gras aus Extensivherkünften, und stellten ebenfalls in den Silagen mit dem AS-haltigen Produkt erheblich verminderte Umsetzungen fest. BS-Gehalte konnten auch hier nur reduziert werden, wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß. Über ähnliche Ergebnisse wurden bei der Silierung von nitratarmem Weidelgras (RAHN, 1992) sowie nitratarmem Grasgemisch (RAMMER, 1996) und Ameisensäurezusatz berichtet, in denen kein Effekt gegen Clostridien nachzuweisen war, eher eine Förderung von Wachstum und Sporulation (RAMMER, 1996). CHAMBERLAIN und QUIG (1987) berichten bei Einsatz von 2l und 6l AS / t FM und einer niedrigen Vergärbarkeit (15 % TS) von sehr guten Siliererfolgen, hingegen erbrachte die Dosis von 4l AS / t FM Silagen mit hohem pH-Wert und hoher BS-Konzentration. Andere Autoren haben mit Dosiserhöhung diese Effekte nicht beobachten können (JONSSON et al., 1990).

RAMMER et al. (1994) konnten erst bei Einsatz von auf 30 % vorgewelktem Siliergut eine Reduzierung der Sporenanzahl nachweisen und führten das Ergebnis auf die Beeinflussung der Wirkung der Ameisensäure durch den TS-Gehalt des Ausgangsmaterials zurück.

Bereits WEIßBACH et al. (1974b) ermittelten für die Silierung von konventionell, d.h. intensiv, erzeugtem Grünfutter eine Optimaldosierung für die Wirkung der Ameisensäure in Abhängigkeit des Trockensubstanzgehaltes von 0,5 mol AS/ kg TS.

In den vorliegenden Versuchen betrug die Zusatzmenge 0,1 mol AS/ kg FM und lag somit bei TS-Werten größer 20 % unterhalb der als optimal ermittelten Menge für nitrathaltiges Grünfutter. Damit konnte sowohl eine Überdosierung ausgeschlossen, als auch ein möglicher kombinierter Effekt von Ansäuerung und antimikrobieller Wirkung, wie besonders für niedrige Applikationsmengen bekannt (WOOLFORD, 1984; McDONALD et al., 1991), erwartet werden.

Die zugesetzte AS-Menge bei der Silierung von *D.glom.* und *F.spec.* lag im Bereich zwischen 0,2 und 0,5 mol AS/ kg TS. In diesem Dosierungsbereich traten jedoch sowohl BS-haltige als auch BS-freie Silagen auf. Ob es für die Dosierung von Ameisensäure bei der Silierung von nitratarmem Grünfutter in Abhängigkeit vom TS-Gehalt einen Optimalbereich gibt, kann aus vorliegenden Untersuchungen nicht abgeleitet werden. Die Ergebnisse weisen eher darauf hin, daß die antimikrobielle Wirkung zur Unterbindung von Clostridienaktivität und die schnelle Säuerung zu Gärbeginn nicht ausreichend waren. Ameisensäure erwies sich im Vergleich zu den Inoculantien etwas wirkungssicherer, insbesondere bei höherer Vergärbarkeit und bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz.

WEIßBACH und HONIG (1996) gaben die Empfehlung, bei Grünfutter mit VK < 35 Ameisensäure oder Ameisensäure enthaltende Flüssigpräparate einzusetzen. Aufgrund vorliegender umfangreicher Untersuchungen ist es unwahrscheinlich, daß damit das Risiko von Fehlgärungen deutlich reduziert werden kann.

Die in der Literatur vorliegenden Ergebnisse und Untersuchungen zum Gärungsverlauf und der günstigen Beeinflussung des Gärprozesses hinsichtlich der Unterdrückung von Schadkeimen werden zwar oftmals in Beziehung zu den Gärungsbedingungen im Ausgangsmaterial, TS und Z/PK, diskutiert. Die Höhe des Nitratgehaltes im Siliergut blieb aber meist unbeachtet, da Nitrat bisher als normalerweise immer vorhandener Inhaltsstoff angesehen wurde. Es ist durchaus denkbar, daß viele Ergebnisse zum Gärungsverlauf, auch bei Zusatz von Inoculantien und organischen Säuren, wie z.B. Ameisensäure, im Zusammenhang mit der Einschätzung der Vergärbarkeit einer Neuinterpretation bedürfen.

### 5.3.3 Zum Einsatz eines nitrithaltigen Siliermittels

Als ein wirksames Siliermittel hat sich in den Untersuchungen das nitrithaltige chemische Siliermittel erwiesen. Bei VK-Werten < 45 waren die Silagen stets BS-frei. Bei höheren Werten für die Vergärbarkeit traten in einigen Silagen allerdings BS-Gehalte bis 0,9 % auf. Es ist anzunehmen, daß bei VK > 45 die Wasseraktivität zu gering war, so daß Nitrit mikrobiell nur eingeschränkt abgebaut werden konnte und als Clostridienhemmer nicht ausreichend zur Verfügung stand. Der Einsatz derartiger Siliermittel sollte deshalb in der Praxis dem schwerer vergärbaren, TS-armen Grünfutter vorbehalten bleiben. Nur dann kann auch das Auftreten von Rückständen des Siliermittels ausgeschlossen werden.

Die positiven Ergebnisse bei Zusatz des nitrithaltigen Siliermittels, in der Literatur auch von anderen Autoren beschrieben (LINGVALL und LÄTTEMÄE, 1999), weisen insgesamt jedoch aus, daß offensichtlich in Form des Nitrits ein Clostridienhemmstoff vorgelegen hat.

Trotz Ausschaltung der Clostridienaktivität bei Nitritzusatz war bei den Silagen aus Grünfutter mit VK < 45 keine Erhöhung der MS-Gärung nachweisbar. Untersuchungen von DODDS und COLLINS-THOMPSON (1984) zeigten, daß bei vielen Laktobakterienstämmen eine hohe Sensitivität gegenüber Nitrit bestand, wobei das Wachstum durch weniger als 50 µg /ml Nitrit eingeschränkt wurde. Die Autoren wiesen nach, daß die homofermentativen Stämme resistenter als die heterofermentativen Stämme waren.

Damit übereinstimmend sind die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen, daß bei Zusatz von Nitrat und Nitrit die ES-Gehalte, die offensichtlich zum großen Anteil als Produkt heterofermentativer MS-Gärung gebildet worden sind, im Vergleich zur Kontrolle eher eingeschränkt wurden.

Wie die Untersuchungen gezeigt haben, ist im allgemeinen auch im sauber geernteten Grünfutter, welches eine geringe Clostridiensporenbelastung aufweist, ein Mindestgehalt an Nitrat/ Nitrit zur Unterbindung von Clostridienaktivität erforderlich. Der nitrithaltige Zusatz konnte das Fehlgärungsrisiko auch bei erhöhtem Sporenbesatz im Vergleich zur Kontrolle drastisch senken. Ein zusätzlicher Clostridienhemmstoff, wie z.B. ein nitrithaltiges Siliermittel, ist um so notwendiger, je höher die Clostridiensporenbelastung des Grünfutters ist.

#### 5.4 Zur Bewertung der Gärqualität von Silagen aus nitratarmem Grünfutter

Wie die Ergebnisse gezeigt haben, kann die Gärqualität von Silagen aus nitratarmem Grünfutter mit Hilfe der derzeit gültigen Schlüssel nur bedingt zutreffend eingeschätzt werden. Silagen mit mittleren und hohen BS-Gehalten wurden nach dem DLG-Schlüssel (WEIßBACH und HONIG, 1992) teilweise zu gut bewertet.

Zur Bewertung nach diesem Schlüssel werden alle Merkmale des unerwünschten Stoffabbaues (Buttersäure, Essigsäure, Ammoniak, pH- Wert /TS) einbezogen. Damit wird das Ziel verfolgt, sämtliche Stufen der Gärqualität sicher erfassen zu können.

In Silagen aus nitrathaltigem Grünfutter besteht ein enges Verhältnis zwischen den Gehalten an Buttersäure und Ammoniak sowie dem pH-Wert in Beziehung zum TS-Gehalt (KAISER u.a. 1998, 1999b). Anaerob stabile, BS-freie Silagen sind stets gekennzeichnet durch niedrige Gehalte an Ammoniak und Essigsäure sowie einen entsprechend dem TS-Gehalt niedrigen pH-Wert. In anaerob instabilen Silagen, in denen es im Gärungsverlauf zum Laktatabbau kommt, sind dagegen die Gehalte an Essigsäure und Ammoniak sowie der pH-Wert je nach erreichtem Ausmaß der Fehlgärung mehr oder weniger stark erhöht. Im Zusammenhang mit dem Laktatabbau entstehen erhöhte ES-Gehalte von > 3,5 % d.TS. Ein sich dem Laktatabbau anschließender Eiweißabbau kann zu Ammoniakgehalten > 10 %  $\text{NH}_3\text{-N}$  an Ges.-N führen. Buttersäure ist, wenn sie auftritt, oftmals mit mittleren Gehalten vorhanden. Die Vergabe von Punkten für die einzelnen Merkmale des unerwünschten Stoffabbaues führt so zu einer differenzierenden Bewertung der Gärqualität je nach Gärungsverlauf und -stadium.

In Silagen aus nitratarmem Grünfutter liegt dagegen ein grundsätzlich anderes Verhältnis der Merkmale des unerwünschten Stoffabbaues aufgrund der hier anders verlaufenden Stoffumsetzungen vor, wie die Auswertung der Gärverläufe und der Silierversuche nach 180 Tagen Lagerungsdauer deutlich gezeigt haben. Die Gehalte an Essigsäure und Ammoniak sowie der pH-Wert lagen ungeachtet von Fehlgärungsprozessen meist in einem Bereich, wie er bisher für gut konservierte Silagen bekannt war. Anaerob stabile Silagen enthielten neben geringen Ammoniak- und Essigsäuregehalten sowie niedrigen pH-Werten fast immer Buttersäure, mit Gehalten von ca. 1,5 % und darüber. Dieses hohe Ausmaß der BS-Bildung korreliert aber bei der Bewertung mit dem DLG-Schlüssel nicht mit der vergebenen Punktzahl zur erforderlichen Abwertung der Gärqualität, da die anderen Merkmale fast immer die Höchstpunktzahl erreichen. Nur in anaerob instabilen Silagen mit extrem hohen BS-Gehalten waren Ammoniakgehalte und pH-Werte erhöht, während die ES-Gehalte ungeachtet anderer Stoffumsetzungen stets sehr niedrig waren. Der Anstieg der pH-Werte ist infolge niedriger Ammoniakgehalte in den Anfangsstadien der Fehlgärung verlangsamt und erhöht sich erst in fortgeschrittenen Stadien der BS-Gärung.

Aufgrund derart unterschiedlicher Verhältnisse der Merkmale des unerwünschten Stoffabbaues in Abhängigkeit vom Nitratgehalt im Siliergut ist deshalb bei Anwendung des für Silagen aus nitratreichem Grünfutter entwickelten Beurteilungsschlüssels auf Silagen aus nitratarmem Ausgangsmaterial mit einer Fehlbewertung der Gärqualität der Silagen zu rechnen. In den vorliegenden Untersuchungen wurden für Silagen mit BS-Gehalten bis 1,4 % Buttersäure Note 2 und bei BS-Gehalten bis 3,5 % in TS noch die Note 3 vergeben.

Mit dem überarbeiteten Schlüssel für die Beurteilung der Gärqualität (WEIßBACH und HONIG, 1999) wird neben den bisher verwendeten Kriterien auch ein Punktabzug für niedrige ES-Gehalte vorgenommen, so daß bei Silagen aus nitratarmem Grünfutter die in der Tendenz zu gute Bewertung damit abgeschwächt wird. Die Gehalte an Ammoniak sowie der pH-Wert werden dadurch für die Einschätzung der Gärqualität noch weniger wirksam als beim Schlüssel 1992 (KAISER et al. 1998, 1999).

Auch in der vorliegenden Auswertung trat eine beträchtliche Verschiebung der Bewertung hin zu schlechteren Noten ein. In den aufgrund niedriger ES-Gehalte (unter 2,0 %) abgewerteten Silagen war aber der Anteil buttersäurefreier Silagen bzw. Silagen mit niedrigem BS-Gehalt sehr hoch. Von den 129 Silagen des ausgewerteten Datenmaterials, die die Note 2 erhielten, waren 58% der Silagen BS-frei ( $\text{BS} \leq 0,3\%$ ) mit ES-Gehalten bis max. 2,5 %. Diese Silagen sind sehr gut konserviert und müssen demzufolge keinesfalls abgewertet werden. Diese Bewertung führt letztendlich zur Abwertung eher gut konservierter Silagen, von denen somit ein großer Anteil mit schlechteren Noten bewertet wird.

Von den 58 Silagen, die mit dem DLG-Schlüssel 1999 in die Note 4 eingestuft wurden, enthielten 30

% (17 Silagen) BS-Gehalte bis höchstens 1,5 % der TS und sind damit übermäßig schlecht beurteilt worden.

Die Abwertung der Gärqualität aufgrund niedriger ES-Gehalte erscheint insgesamt fragwürdig. Im Falle nitratreichen Grünfutters sind niedrige Essigsäuregehalte stets Ausdruck sehr guter Konservierung. Bei Silagen aus nitratarmem Grünfutter sind die ES-Gehalte immer, unabhängig von den übrigen Merkmalen der Gärqualität, sehr gering.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß weder mit dem DLG-Schlüssel 1992, noch mit dem Schlüssel 1999 eine zutreffende Bewertung erreicht werden kann. Während beim Schlüssel von 1992 eine gewisse Überbewertung auftritt, erfolgt bei Anwendung des DLG-Schlüssels von 1999 eine unzulässige Abwertung durch den Abzug für niedrige ES-Gehalte. Die Auswertung von Praxissilagen, von KAISER u.a. (1998) vorgestellt, hat zu vergleichbaren Ergebnissen bei der Beurteilung von Grassilagen mit Hilfe der DLG- Bewertungsschlüssel 1992 und 1999 geführt. Weitere Untersuchungen von KAISER et al. (1999b) haben gezeigt, daß die Gehalte an Buttersäure und Essigsäure als alleinige Kriterien zur Beurteilung der Gärqualität in allen Gärungsstadien, unabhängig von der chemischen Zusammensetzung des Ausgangsmaterials, geeignet sind.

## 6 Schlußfolgerungen und Empfehlungen für die Praxis

Der bisherige Kenntnisstand zum Gärungsverlauf bei der Silierung ist sowohl im Hinblick auf die Phasen des Gärverlaufes und die dabei entstehenden Gärprodukte als auch bezüglich der Grenzwerte der Vergärbarkeit hinsichtlich TS-Gehalt und Z/PK-Quotient auf nitratarmes Grünfutter nicht uneingeschränkt anwendbar.

Das bedeutet auch, daß die Bedingungen für die Anwendung siliertechnischer Maßnahmen zur Sicherung des Konservierungserfolges bei nitratarmem Grünfutter neu definiert werden müssen.

Für die Unterbindung von Fehlgärungen bei der Silierung von nitratarmem Grünfutter ist eine schnelle Absenkung des pH-Wertes zu Gärbeginn durch intensive Säuerung in den Silagen allein nicht ausreichend. Durch Förderung der Milchsäuregärung, wie sie ein Zusatz von Milchsäurebakterien und Ameisensäure darstellt, kann BS-Bildung von Gärbeginn an häufig auch dann nicht unterdrückt werden, wenn die kritische Aziditätsgrenze erreicht ist. Durch die frühzeitige Buttersäurebildung besteht in den Silagen das Risiko, daß im weiteren Verlauf der Gärung Laktat abgebaut und sich Clostridien stark vermehren können. Voraussetzung für die Verhinderung von Laktatabbau ist in erster Linie die Unterdrückung der BS-Bildung zu Gärbeginn. Ob Fehlgärungen sicher vermieden werden können, ist deshalb abhängig von der Anwesenheit des natürlichen Clostridieninhibitors Nitrat.

Bei der Erarbeitung der Grenzwerte TS und Z/PK zur Erzeugung fehlgärungsfreier Silagen ist davon ausgegangen worden, daß das Nitrat zu den Inhaltsstoffen gehört, die normalerweise im Ausgangsmaterial zur Silierung vorhanden sind. Aus der Rückführung der Nutzungsintensität auf dem Grünland ergeben sich zwangsläufig Veränderungen in der chemischen Zusammensetzung des Grünfutters. Es muß damit gerechnet werden, daß unter den Bedingungen eingeschränkter Stickstoffdüngung und / oder Schnitverzögerung, insbesondere des ersten Aufwuchses, verbreitet nitratarmes oder sogar nitratfreies neben nitrathaltigem Grünfutter zur Silierung gelangt.

Aus den vorliegenden Ergebnissen ist die Schlußfolgerung abzuleiten, daß bei sehr geringen Nitratgehalten im Grünfutter die chemischen Parameter TS und Z/PK nur noch bedingt zur Schätzung der Vergärbarkeit und Steuerung des Gärungsverlaufes herangezogen werden können. Außerdem ergeben sich aus der Auswertung vorliegender Versuche Hinweise darauf, daß die Zusammensetzung der Kohlenhydratfraktion in stärkerem Maße zu berücksichtigen ist. Für die Einschätzung der Vergärbarkeit wurden bisher die kaltwasserlöslichen, nach Anthronmethode bestimmbaren Kohlenhydrate (Z) herangezogen. In welchem Umfang höherpolymere Kohlenhydrate, wie z.B. Fructane, im Gärverlauf zu leicht löslichen Kohlenhydraten abgebaut und als Gärsubstrat genutzt werden, kann derzeit nicht sicher beurteilt werden. Die Fraktion vergärbare Kohlenhydrate ist auch im Hinblick auf die Einschätzung der Vergärbarkeit in weiteren Untersuchungen genauer zu charakterisieren.

Für Empfehlungen zum Einsatz von Siliermitteln und zur Bestimmung des notwendigen Anwelkgrades bei gegebenem Z/PK-Quotienten des nitratarmen Grünfutters bei der Welksilagebereitung ist der VK-Wert mit bestimmten Einschränkungen jedoch weiterhin heranzuziehen.

Aus dem Untersuchungsprogramm zur Vergärbarkeit von nitratarmem Grünfutter ergibt sich als eine Schlußfolgerung, daß siliertechnische Maßnahmen nicht nur bei dem nach Vergärbarkeitskoeffizient VK schwer und mittelschwer vergärbarem, sondern auch bei leicht vergärbarem Grünfutter in Betracht gezogen werden müssen.

Dem bisher als universelle Methode angesehenen Welken kommt bei der Silierung von nitratarmem Grünfutter auch weiterhin Bedeutung zu. Nach den vorliegenden Ergebnissen führt eine Erhöhung des TS-Gehaltes zwar nicht dazu, daß BS-Bildung in jedem Falle sicher unterbunden werden kann. Ausgedehnter Laktatabbau mit sehr hohen BS-Gehalten ist aber in Silagen aus clostridiensporenarmem Grünfutter mit hohen TS-Gehalten nicht nachgewiesen worden. Fehlgärungen außer der „Anfangs-BS-Gärung“, bei der stabile Silagen mit mehr oder weniger hohen MS- und BS-Gehalten vorliegen, können durch das Welken wesentlich länger hinausgezögert werden. Der für diese Silagestabilität erforderliche TS-Gehalt sollte sich wie bei nitrathaltigem Grünfutter nach dem Verhältnis von Zuckergehalt und Pufferkapazität richten.

In Kombination mit dem Welken, aber auch bei leicht vergärbarem Grünfutter, sind durchgängig Siliermittel, bevorzugt MSB-Präparate, heranzuziehen. Insbesondere homofermentative Laktobakterienstämme verfügen über eine hohe Osmotoleranz und können demzufolge auch bei höheren TS-Gehalten im Grünfutter eingesetzt werden. Die Entstehung BS-freier Silagen kann damit zwar nicht

garantiert werden. Das Risiko für Fehlgärungen kann aber zumindest eingeschränkt werden.

Bei der Entwicklung neuer Siliermittel sollten deshalb nicht nur leistungsfähigere Impfkulturen, sondern auch direkte Clostridienhemmer Berücksichtigung finden. Es empfiehlt sich, Kombinationspräparate, die neben Milchsäurebakterien auch Hemmstoffe enthalten, zu testen. Weitere Ansatzpunkte zur Entwicklung von Siliermitteln liefern die Ergebnisse aus dieser Arbeit, daß BS-freie Silagen aus nitratararmem Grünfutter bei zweiten Aufwüchsen mit einem offensichtlich höheren Anteil heterofermentativer Milchsäurebakterien auftraten. Der Hypothese, daß Essigsäure als Produkt der heterofermentativen Milchsäuregärung hemmend auf Clostridien wirkt, ist in weiteren Untersuchungen nachzugehen.

Bei schwer und mittelschwer vergärbarem Grünfutter mit geringen TS-Gehalten ist nach wie vor der Einsatz eines nitrithaltigen Siliermittels zu empfehlen. Bei TS-reichem Grünfutter ist sein Einsatz schon deshalb nicht in Erwägung zu ziehen, weil eine Rückstandsbildung nicht ausgeschlossen werden kann.

Die Versuche mit kontaminiertem Grünfutter haben deutlich gezeigt, daß die Vergärbarkeit besonders bei nitratararmem Grünfutter in hohem Maße abhängig ist von der Belastung des Grünfutters mit Clostridiensporen. Je niedriger der Clostridiensporenbesatz des Grünfutters ist, um so niedriger können TS und Z/PK sowie Nitratgehalt sein. Mit steigender Sporenbelastung erhöhen sich auch die Anforderungen an VK und Nitratgehalt, um das Risiko von Fehlgärungen zu minimieren. Es zeigte sich, daß auch die Wirksamkeit von Silierzusätzen in starkem Maße von der Clostridiensporenbelastung abhängig ist. Dem Einsatz von sauber geerntetem Siliergut als Voraussetzung für die Erzeugung stabiler, BS-freier Silagen kommt dabei auch in Zukunft eine besondere Bedeutung bei.

Ein wichtiges Ergebnis der vorliegenden Untersuchungen ist nicht zuletzt, daß Silagen aus nitratararmem Grünfutter aufgrund anderer Beziehungen der Merkmale des unerwünschten Stoffabbaus untereinander weder mit Hilfe des DLG- Bewertungsschlüssels von 1992 noch von 1999 zutreffend bewertet werden können. Bei der Beurteilung der Gärqualität muß jedoch gewährleistet sein, daß Silagen auch unabhängig von der chemischen Zusammensetzung des Ausgangsmaterials bewertet werden können. Dazu ist ein geeigneteres Bewertungssystem erforderlich.

## 7 Zusammenfassung

Mit der Rückführung der Nutzungsintensität auf dem Grünland ist in der landwirtschaftlichen Praxis überwiegend mit dem Auftreten von nitratarmem bzw. nitratfreiem Grünfutter zur Silierung zu rechnen, nicht nur unter den Bedingungen der Extensivierung.

Zu den Auswirkungen des Fehlens von Nitrat auf den Gärungsverlauf liegen bisher nur sehr wenige Untersuchungsergebnisse vor. Die umfangreichen und mehrjährigen Untersuchungsergebnisse der vorliegenden Arbeit haben gezeigt, daß der Wissensstand zu den Gärungsvorgängen in nitrathaltigem Grünfutter nicht ohne weiteres auf nitratarmes Material zu übertragen ist.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Besonderheiten des Gärungsverlaufes bei der Silierung von nitratarmem Grünfutter aufzuklären und die Beziehungen zwischen der chemischen Zusammensetzung des Ausgangsmaterials und dem Gärverlauf sowie dem Gärproduktmuster am Ende des Gärungsprozesses festzustellen.

Dazu wurden im ersten Untersuchungsteil drei verschiedene Futterpflanzen aus unterschiedlichen Vegetationsstadien und mit unterschiedlichem Clostridiensporenbesatz einsiliert, so daß für die Auswertung sechs Versuche zur Prüfung des Gärverlaufes zur Verfügung standen.

Zur Überprüfung der Hypothese, daß bei Fehlen von Nitrat im Gärsubstrat die inhibitorische Wirkung auf Clostridien zu Gärbeginn fehlt und der weitere Gärverlauf beeinflusst wird, wurden diese Versuche auch bei Zusatz von 0,05 bzw. 0,1 % N / kg TS als Nitrat und Nitrit zum Ausgangsmaterial durchgeführt. Zur Klärung der Versuchsfrage, ob das Fehlen von Nitrat durch Beschleunigung der Ansäuerung zu Gärbeginn kompensiert werden kann, wurden in den Versuchen bei geringem und erhöhtem Clostridiensporenbesatz des Grünfutters Zusätze von Inoculantien und Ameisensäure geprüft.

Im zweiten Teil der Arbeit wurden die Ergebnisse mehrjähriger Laborsilierversuche mit verschiedenen Pflanzenarten aus unterschiedlichen Nutzungssystemen dargestellt. Es sollte geprüft werden, ob die unter Laborbedingungen gefundenen Auswirkungen des Fehlens von Nitrat auch bei Grünfutter, das unter praxisnahen Bedingungen geerntet wurde, auftreten. Zur Fragestellung, welche Siliermittel zur Sicherung des Konservierungserfolges bei nitratarmem Grünfutter eingesetzt werden können, wurde in diesem Versuchsprogramm weiterhin der Zusatz von zwei Milchsäurebakterienpräparaten und Ameisensäure, sowie eines nitrithaltigen Siliermittels bei geringem und erhöhtem Clostridiensporengehalt des Siliergutes geprüft.

Desweiteren sollte die Frage beantwortet werden, wie sich die chemischen Parameter zur Kennzeichnung des Ausgangsmaterials zur Silierung und der epiphytische Keimbesatz in Abhängigkeit von Aufwuchs und Pflanzenart verändern.

Die Versuchsergebnisse haben gezeigt, daß das Fehlen von Nitrat im Gärsubstrat zu wesentlich veränderten Gärungsverläufen mit anderem Gärproduktmuster am Ende der Gärung führt als für nitrathaltiges Grünfutter bekannt ist.

Die Ergebnisse und Schlußfolgerungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Entgegen der bisherigen Annahme, nach der durch MS-Gärung und schnelle pH-Absenkung zu Gärbeginn Clostridienaktivität wirksam unterbunden werden kann, zeigte sich bei den Silierversuchen mit nitratarmem Grünfutter, daß bereits in den ersten Gärungstagen und parallel zur MS-Gärung BS-Bildung auch in dem nach TS und Z/PK leicht vergärbaren Grünfutter stattfindet. Durch intensive MS-Gärung, verbunden mit pH-Wert-Absenkung, konnte BS-Gärung höchstens eingeschränkt, nicht jedoch unterbunden werden. In den Silagen des Grünfutters mit erhöhtem Clostridiensporenbesatz kam es teilweise in erheblichem Umfang zur BS-Bildung, obwohl auch hier in den ersten Gärungstagen Milchsäure gebildet wurde. Die Ergebnisse aus den Gärverlaufsversuchen bei Zusatz von Nitrat/Nitrit zeigten, daß „Anfangs“-Buttersäuregärung je nach Höhe des Clostridiensporenbesatzes auf dem Grünfutter durch diesen Hemmstoff eingeschränkt bzw. vollständig unterbunden werden konnte. Damit konnte die Hypothese bestätigt werden, daß die frühzeitige BS-Gärung auf das Fehlen von Nitrat als natürlichem Clostridieninhibitor zurückzuführen ist.
2. Das Gärproduktmuster zu Gärbeginn wies keine erhöhten Ammoniakgehalte über 10 %  $\text{NH}_3\text{-N}$  an Ges.-N sowie iso-Säuren und höhere Homologe der Buttersäure auf. Ein Lakta-

tabbau in den ersten Gärungstagen konnte nicht nachgewiesen werden. Daraus wurde geschlußfolgert, daß offensichtlich zu Gärbeginn leicht lösliche Kohlenhydrate als Substrat für die BS-Bildung dienen.

3. Der Gehalt an vergärbaren Kohlenhydraten im Zusammenhang mit den übrigen Substratbedingungen ist auch bei der Silierung von nitratarmem Grünfütter entscheidend dafür, ob die stabilisierend wirkende Aziditätsgrenze erreicht wird oder nicht. Im Unterschied zu nitrathaltigem Grünfütter kann aber in anaerob stabilen Silagen aus nitratarmem Grünfütter neben Milchsäure auch Buttersäure in geringem bis mittlerem Ausmaß vorliegen. Durch das Fehlen von Nitrat wird das Erreichen der Aziditätsgrenze insofern in Frage gestellt, da sich mit sinkender Verfügbarkeit vergärbare Kohlenhydrate im Gärverlauf die Wahrscheinlichkeit erhöht, daß zunehmend Laktat abgebaut wird. Bei erhöhtem Clostridiensporenbesatz des Grünfütters steigt das Risiko umfangreicher Fehlgärungen.
4. Anaerob instabile Silagen aus nitratarmem Grünfütter weisen in allen Stadien des Laktatabbaues ein anderes Verhältnis zwischen Buttersäure und den übrigen Merkmalen des unerwünschten Stoffabbaus - Essigsäure, Ammoniak, pH-Wert - auf als Silagen aus nitrathaltigem Grünfütter. Die BS-Gehalte erreichten hier infolge des Laktatabbaus, unabhängig von der Höhe des Clostridiensporenbesatzes, ein ungewöhnlich hohes Ausmaß bei gleichbleibend niedrigen ES-Gehalten. Erst in späteren Gärungsstadien wurden sehr hohe Ammoniakgehalte weit über 10 %  $\text{NH}_3\text{-N}$  an Ges.-N nachgewiesen, die dann zu einem stärkeren pH-Anstieg in den Silagen führten.
5. Die ES-Gehalte in Silagen aus nitratarmem Grünfütter lagen bei allen Versuchen sowohl im Gärverlauf als auch nach Auslagerung unterhalb von 3,5 % in TS. Die Alkoholgehalte waren ebenfalls durchgängig sehr niedrig.
6. Für die Einschätzung der Vergärbarkeit ist außer den chemischen Parametern TS und Z/PK auch der Nitratgehalt zu berücksichtigen. Bei Fehlen von Nitrat besteht, unabhängig von der nach TS und Z/PK vorhergesagten Vergärbarkeit, ein besonderes Risiko für das Auftreten von Buttersäure (auch bei leicht vergärbarem Grünfütter). Weiterhin sind in stärkerem Maße als bisher der epiphytische Keimbefall sowie der Clostridiensporengehalt zu berücksichtigen. Für Empfehlungen zum Siliermitteleinsatz und zur Abschätzung des notwendigen TS-Gehaltes, auf den bei gegebenem Z/PK-Quotienten vorgewelkt werden sollte, ist der VK-Wert bei nitratarmem Grünfütter nur mit Einschränkungen heranzuziehen.
7. In Abhängigkeit vom Aufwuchs war die Einschätzung der Vergärbarkeit des Grünfütters verschieden und es trat eine unterschiedliche Gärqualität der Silagen auf. Bei überwiegend günstiger Beurteilung der ersten Aufwüchse bezüglich der Vergärbarkeit nach TS und Z/PK und Milchsäuregärung in den Silagen trat trotzdem Buttersäure auf. Das Grünfütter der ersten Aufwüchse wies nur einen geringen natürlichen Laktobakterienbesatz bis höchstens  $10^3$  KBE/ g FM auf. Bei den Folgeaufwüchsen lagen die Keimgehalte höher, vereinzelt bis  $10^6$  KBE/ g FM. Diese Aufwüchse wurden nach VK meist als mittelschwer und schwer vergärbare eingestuft. MS-Gehalte in den Silagen waren hier jedoch in der Tendenz höher und BS-Gehalte geringer bzw. es traten sogar einige BS-freie Silagen auf. Im Mittel aller Versuche waren die ES-Gehalte in den Silagen vom ersten bis dritten Aufwuchs leicht angestiegen, was auf eine Artenverschiebung zwischen homo- und heterofermentativen Milchsäurebakterien auf dem Grünfütter hinweist. Aufgrund des Gärproduktmusters der Silagen zweiter und dritter Aufwüchse mit höheren ES-Gehalten bei insgesamt niedrigeren BS-Gehalten gegenüber ersten Aufwüchsen wird geschlußfolgert, daß heterofermentative Laktobakterien einen Effekt auf Unterbindung von Clostridienaktivität aufgrund der gebildeten Essigsäure haben könnten.
8. In Abhängigkeit von Aufwuchs oder Pflanzenart konnte ein Anstieg der Alkoholgehalte nicht festgestellt werden. Die Gehalte waren bei allen Versuchen sehr niedrig.
9. Bei gleicher Vergärbarkeit, gemessen an TS und Z/PK, traten bei den Schwingelarten höhere Milchsäure- und geringere Buttersäuregehalte auf als bei den Knäulgrassilagen. Es wird angenommen, daß ein Einfluß der Pflanzenart auf Zusammensetzung und Vergärbarkeit der Fraktion wasserlöslicher Kohlenhydrate vorliegt.
10. Zur Unterdrückung der Buttersäurebildung in Silagen aus nitratarmem Grünfütter ist das Welken allein als nicht ausreichend einzuschätzen. Die Erhöhung des TS-Gehaltes bewirkt jedoch, daß Silagen trotz geringer bis mittlerer BS-Gehalte anaerob stabil bleiben, d.h. weitere Fehlgärungen wie Laktatabbau hinausgezögert werden können. In Kombination mit dem Welken ist der strategische Einsatz von MSB-Präparaten zu empfehlen, wenn auch das Risiko für Fehlgärungen nur eingeschränkt werden kann. In den Versuchen hatte sich



gezeigt, daß trotz Förderung der Säuerung, wie sie ein Zusatz von MSB-Präparaten und Ameisensäure darstellt, Buttersäurebildung nur eingeschränkt, nicht jedoch unterbunden werden konnte. Ameisensäure erwies sich im Vergleich zu den Inoculantien als etwas wirkungssicherer. Das nitrihaltige Siliermittel hatte sich auch bei erhöhter Clostridiensporenbelastung des Grünfutters als sehr wirksam erwiesen. Der Einsatz derartiger Siliermittel sollte aber in der Praxis dem schwer vergärbaren, TS-armen, Grünfutter vorbehalten bleiben.

11. Bei Anwendung des derzeit gültigen, für Silagen aus nitratreichem Grünfutter entwickelten DLG-Beurteilungsschlüssels auf Silagen aus nitratarmem Ausgangsmaterial ist mit einer Fehlbewertung zu rechnen. Ursache dafür ist, daß in Abhängigkeit vom Nitratgehalt des Ausgangsmaterials andere Beziehungen der Merkmale des unerwünschten Stoffabbaus untereinander vorliegen.

## Literaturverzeichnis

- Adams, Hall Adams, M.R.; Hall, C.J.: Growth inhibition of foodborne pathogens by lactic and acetic acids and their mixtures. Intern. Food Sci. Technolog.. 1988, 23, S.287-292,
- Andrieu, Gouet Andrieu, J.P.; Gouet, J.: Variations and modifications of epiphytic microflora on standing crops and after their harvest for silage. Proc. of the Conf.: Forage Conservation towards 2000. 1991, *Landbauforschung Völkenrode Sonderheft* 123, S.287-289,
- Ataku Ataku, K.: The role of nitrate in silage fermentation and his significance. J. coll. Dairying. Natural Sci.. 1982, 9, S.209-319,
- Ataku, Horiguchi, Matsumoto Ataku, K.; Horiguchi, M.; Matsumoto, T.: Relationship between silage quality and 15N-Nitrate reduction during ensilage. Proc.14. Intern. Grassl. Congress, Lexington, S.663-665,
- Barnett Barnett, A.J.G.: The reduction of nitrate in mixture of minced grass and water. J.Sci. Food Agric.. 1953, 4, S.92-96,
- Beck Beck, Th.: Die Mikrobiologie der Gärfutterbereitung. Eine zusammenfassende Darstellung des derzeitigen Wissensstandes. Wirtschaftseig. Futter. 1966, 12, S.227-263,
- Beck Beck, Th.: In: Fermentation of silage - a Review. (McCulough) National Feed Ingerdients Association, Iowa. 1978, S.61-115,
- Beck, Gross, Beck Beck, K.; Gross, F; Beck, Th.: Untersuchungen zur Kenntnis der Gärfutterflora. Wirtschaftseig. Futter. 1987, 33, S.13-33,
- Bolsen et. al. Bolsen, K.K., Lin, C.;Brent, B.E.; Feyerherm, A.M.; Urban, J.E.; Aimutis, W.R.: Effect of silage additives on the microbiological succession and fermentation process of alfalfa and corn silage. J. Dairy Sci.. 1992, 75, S.3066-3083,
- Bolsen, Brent, Dickerson Bolsen, K.K.; Brent, B.E.; Dickerson, J.T.: Hay and silage in the 1990. Hrsg.: K.K. Bolsen, J.Baylor and M.E. McCoullough: Page 1 in Hay and silage Management in North America. Band ed. Nat. Feed Igred. Assoc.. West Des Moines, 1978
- Bryan-Jones Bryan-Jones, D.G.: PhD Thesis. zitiert bei McDonald et al., 1991. University of Edinburgh, 1969
- Bryant, Burkey Bryant, M.P.; Burkey, L.A.: The characteristics of lactatefermenting sporeforming anaerobes from silage. J. Bacteriol.. 1956, 71, S.43-46,
- Cai, et al. Cai, Y.; Benno, Y.; Ogawa, M.; Ohmomo, S.; Kumai, S.; Nakase, T.: Influence of Lactobacillus spp. from an inoculant and of Weisella and Leuconostoc spp. from forage crops on silage fermentation. Appl. and environmental-microbiology (USA). 1998, 64, S.2982-2987,
- Chamberlain, Quig Chamberlain, D.G.; Quig, J.: The effects of the rate of addition of formic acid and sulphuric acid on the ensilage of perennial ryegrass in laboratory silos. J. Sci. Food Agric.. 1987, 38, S.217-228,
- Chlevickas et al. Chlevickas, J.V.; Chlevickiene, T.; Skebiene,D.; Jankeviciene, D.: Quality of silages made from legumes and grasses with biological and chemical additives. . Soil-Grassland-Animal-Relationships. Proc. of the 13. General meeting of the European Grassland Federation. 1990, Vol.2, S.101-104,
- Crabbendam, Neijssel, Tempest Crabbendam, P.M.; Neijssel, O.M.; D.W. Tempest: Metabolic and energetic aspects of the growth of Clostridium butyricum on glucose in chemostate culture. Arch. Microbiol.. 1985, 142, S.375-382,
- Daeschel, Andersson, Fleming Daeschel, M.A.; Andersson, R.E.; Fleming, H.P.: Microbial ecology of fermenting plant materials. FEMS Microbiol. Reviews. 1987, 46, S.357-367,
- Daniel, Opitz von Boberfeld Daniel, P.; Opitz von Boberfeld, W.: Zum Effekt von Trifolium repens L. (Weißklee) auf den Ertrag und Siliereigenschaften von Mischbeständen bei unterschiedlichem N-Aufwand. Wirtschaftseig. Futter. 1987, 33, S.287-299,

- De Man De Man, J.D.: MPN Tables, corrected. Eur.J. Appl. Microbiol.Biotechnol.. 1983, 17, S.301-305,
- De Vuyst et al. De Vuyst, A.; Arnould, R.; Moreels, A.; Romedenne, J.T.: Revue de l'Agriculture. 1973, 26, S.1379-1390,
- Dellagio Dellagio, F.: Lactic acid bacteria by silage fermentation. Microbiology-Aliments-Nutrition. 1985, 3, S.91-104,
- Dewar, McDonald, Whittenbury Dewar; W.A.; McDonald, P.; Whittenbury, R.: The hydrolysis of grass hemicelluloses during ensilage. J.Sci. Food Agric.. 1963, 14, S.411-417,
- Dietrichs, Sinner, Kaufmann Dietrichs, H.H.; Sinner, M.; Kaufmann, W.: Chemische Analyse und Verdaulichkeit der Kohlenhydrate des Weidelgrases. Wirtschaftseig. Futter. 1976, 22, S.173-183,
- Driehuis et al. Driehuis, F.; Spoelstra, S.F.; Cole, S.C.J.; Morgan, R.: Improving aerobic stability by inoculation with *Lactobacillus buchneri*. Proc. 11. Int. Silage Conference. Iger, Aberystwyth. 1996, S.106-107,
- Driehuis et al. Driehuis, F.; Wikselaar, P.G.; Vuuren, A.M.; Spoelstra, S.F.: Effect of a bacterial inoculant on rate of fermentation and chemical composition of high dry matter grass silages. J. Agric. Sci.. 1997, 128, S.323-329,
- Elles Elles, S.: Einfluß von Hauptbestandbildnern, Narbendichte, N-Düngung und Zeit auf Ertrag, Energiedichte, P/E-Quotient, Nitratgehalt und Gärfähigkeit; Dissertation. Universität Gießen, 1989
- Fehrmann, Müller Fehrmann, F.; Müller, T.: Jahresverlauf des epiphytischen Mikrobenbesatzes auf einem Graslandstandort. Wirtschaftseig. Futter. 1990, 36, S.66-78,
- Fenton Fenton, M.P.: An investigation into the sources of lactic acid bacteria in grass silage. J. Appl. Bacteriol.. 1987, 62, S.181-188,
- Gibson Gibson, T.: Clostridia in silage. J. Appl. Bacteriol.. 1965, 28, S.56-62,
- Gibson et al. Gibson, T.; Stirling, A.C.; Keddie, R.M.; Rosenberger, R.F.: Bacteriological changes in silage made at controlled temperatures. J. General Microbiol.. 1958, 19, S.112-129,
- Gonzales-Yannez Gonzales-Yannes, M.: Polysaccharide degrading enzymes as additives for silage; PhD. University of Edinburgh, 1990
- Gordon Gordon, F.J.: An evaluation through lactating cattle of a bacterial inoculant as an additive for grass silage. Grass Forage Sci.. 1989, 44, S.169-179,
- Greenhill Greenhill, W.L.: Plant juices in relation to silage fermentation I: The role of the juice. J. Brit. Grassl. Soc.. 1964a, 19, S.30-37,
- Greenhill Greenhill, W.L.: Plant juices in relation to silage Fermentation, II: Factors affecting the release of juice. J. Brit. Grassl. Soc.. 1964b, 19, S.231-236,
- Greenhill Greenhill, W.L.: Plant juices in relation to silage fermentation, III: Effect of water activity of juice. J. Brit. Grassl. Soc.. 1964c, 19, S.336-339,
- Haigh Haigh, P.M.: Effect of herbage water soluble carbohydrate content and weather conditions at ensilage on the fermentation of grass silages made on commercial farms. Grass Forage Sci.. 1990, 45, S.263-271,
- Hasan, Hall Hasan, S.M.; Hall, J.B.: The Physiological Function of Nitrate Reduction in *Clostridium perfringens*. J. General Microbiol.. 1975, 87, S.120-128,
- Hasan, Hall Hasan, S.M.; Hall, J.B.: Dissimilatory nitrate reduction in *Clostridium tertium*. Zeitschr. für Allg. Mikrobiologie. 1977, 17, S.501-506,
- Hein Hein, E.: Die Beeinflussung des Gärverlaufes bei der Grünfuttersilierung durch den Nitratgehalt des Ausgangsmaterials, Dissertation. ADL, Berlin, 1970
- Hein, Weißbach Hein, E.; Weißbach, F.: Decomposition processes and effects of nitrate in ensiling green forage, Proc. XIII Intern. Grassland Congr.. Leipzig, Sect.9, S.1323-1325,

- Hellberg Hellberg, A.: Einfluß der N-Düngung und des Schnittzeitpunktes auf die Silierfähigkeit des Grünfutters. *Wirtschaftseig. Futter*. 1967, 13, S.111-129,
- Henderson Henderson, A.R.: The effect of a commercial inoculant applied at two levels an Add-F on the chemical characteristics and utilisation of ryegrass silage over the seasons. *Outlook on Agriculture*. 1987, 16, S.89-94,
- Henderson Henderson, A.R.: Biochemistry in forage conservation. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft*. 1991, *Sonderheft 123*, S.37-47,
- Holden Holden, A.N.G.: PhD Thesis, University of Newcastle-upon-Tyne. Hrsg.: zit. in McDonald et al., 1991: University of Newcastle-upon-Tyne, 1987
- Hopf Hopf, Margareta: Gehalte, Molekulargewichte und mikrobieller Abbau von Fructosan aus *Dactylis glomerata*, *Phleum pratense* und *Lolium perenne*, Dissertation. Technische Universität München, 1982
- Ishimoto, Umeyama, Chiba Ishimoto, M.; Umeyama, M.; Chiba, S.: Alteration of fermentation products from butyrate to acetate by nitrate reduction in *Clostridium perfringens*. *Zeitschr. für Allg. Mikrobiologie*. 1974, 14, S.115-116,
- Jaakkola, Toivonen, Huhtanen Jaakkola, S.; Toivonen, V.; Huhtanen, P.: Effects on nitrogen fertilisation of grass on fermentation in untreated and formic acid treated silage. *Proc. XII. Intern. Silage Conference Res. Uppsala*, S.164-165,
- Jahresbericht Bayrische Landesanstalt für Tierzucht, Grub: Jahresbericht 1999. 1999, S.39, 65,
- Jones, Griffith, Walters Jones, D.I.H.; Griffith, G.; Walters, R.J.K.: The effect on nitrogen fertilizer on the water-soluble carbohydrate content of perennial ryegrass and cocksfoot. *J. Brit. Grassl. Soc.*. 1961, 16, S.272-275,
- Jonsson Jonsson, A.: The role of yeasts and clostridia in silage deterioration, Dissertation. Universität Uppsala, 1989
- Jonsson Jonsson, A.: Enumeration and confirmation of *Clostridium tyrobutyricum* in silages using neutral red, D-cycloserine and lactatdehydrogenase activity. *J. Dairy Sci.*. 1990, 73, S.719-725,
- Jonsson Jonsson, A.: Growth of *Clostridium tyrobutyricum* during fermentation and aerobic deterioration of grass silage. *J. Sci. Food Agric.*. 1991, 54, S.557-568,
- Kaarli, Lemming Kaarli, L.; Lemming, E.: The influence of nitrogen fertilizers on microbiological and biochemical processes in ensilage of grass. *Proc. XII. Intern. Grassland Congr. Moscow*, 1974, S.632-637,
- Kaiser Kaiser, E.: Zum Einfluß von Nitratgehalt, Zuckerart und Lagerungstemperatur auf die Vorhersage des Gärungsverlaufes bei der Grünfuttersilierung, Habilitationsschrift. Humboldt-Universität zu Berlin, 1981
- Kaiser et al. Kaiser, E.; Milimonka, A.; Weiß, K.; Schubert, S.: Silagequalität von extensiv erzeugtem Grünfutter. 1994b, 38. Jahrestag der AG Grünland und Futterbau in der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Oberweißbach, S.206-209,
- Kaiser, Krause, Weiß Kaiser, E.; Krause, R.; Weiß, K.: Beurteilung der Gärqualität von Grassilagen anhand des neuen DLG-Bewertungsschlüssels. Ergebnisse von Praxissilagen. Band Kongreßband. *Proc. 110. VDLUFA-Kongreß, Gießen*, S.497-500,
- Kaiser, Weiß Kaiser, E.; Weiß, K.: Zum Gärungsverlauf bei der Silierung von nitratarmem Grünfutter. 2.Mitt.: Gärungsverlauf bei Zusatz von Nitrat, Nitrit, Milchsäurebakterien und Ameisensäure. *Arch. Anim. Nutr.*. 1997b, S.50, 187-200,
- Kaiser, Weiß, Krause Kaiser, E.; Weiß, K.; Krause, R.: Vorschlag zur Beurteilung der Gärqualität von Grassilagen. Band Kongreßband (im Druck). 111. VDLUFA-Kongreß, Halle; 1999b,
- Kaiser, Weiß, Milimonka Kaiser, E.; Weiß, K.; Milimonka: Untersuchungen zur Gärqualität von Silagen aus nitratarmem Grünfutter. *Arch. Anim. Nutr.*. 1999a, 52, S.75-93,
- Kaiser, Weiß, Zimmer Kaiser, E.; Weiß, K.; Zimmer, J.: Zum Gärungsverlauf bei der Silierung von

- nitratarmem Grünfütter. 1. Mitt.: Gärungsverlauf in unbehandeltem Grünfütter. Arch. Anim. Nutr. . 1997a, S.50, 87-102,
- Kaiser, Weißbach Kaiser, E.; Weißbach, F.: Abbauprodukte des Nitrats bei der Grünfüttersilierung. 2. Mitt.: Ammoniak. Berichte der HUB. 1988, S.8, 13, 29-38,
- Kaiser, Weißbach Kaiser, E.; Weißbach, F.: Zum Einfluß des Nitratgehaltes im Grünfütter auf den Gärungsverlauf bei der Grünfüttersilierung, 1. Mitt.. Wiss. Zeitschr. der HUB. 1989a, 38, S.2, 78-84,
- Kaiser, Weißbach Kaiser, E.; Weißbach, F.: Zum Einfluß des Nitratgehaltes im Grünfütter auf den Gärungsverlauf bei der Grünfüttersilierung, 2. Mitt.. Wiss. Zeitschr. der HUB. 1989b, 38, S.2, 85-91,
- Kaiser, Weißbach, Haacker Kaiser, E.; Weißbach, F.; Haacker, K.: Abbauprodukte des Nitrats bei der Grünfüttersilierung. 1. Mitt.: Nitrose Gase . Wiss. Zeitschr. der HUB. 1987, 36, S.290-294,
- Kalzendorf Kalzendorf, Ch.: Über die Möglichkeiten einer kombinierten Anwendung von Milchsäurebakterien und Natriumformiat als Silierzusatz, Dissertation. Humboldt-Universität zu Berlin, 1992
- Keady Keady, T.W.J.: Studies of the mode of action of bacterial inoculant as a silage additive and an evaluation of its efficiency, PhD Thesis. Queen`s University of Belfast, 1991
- Keady et al. Keady, T.W.J.; Steen, R.W.J.; Kilpatrick, D.J.; Mayne, C.S.: Effects of inoculant treatment on silage fermentation, digestibility and intake by growing cattle. Grass Forage Sci.. 1994, 49, S.284-294,
- Keady, Murphy Keady, T.W.J.; Murphy, J.J.: Effects of inoculant treatment on ryegrass silage fermentation, digestibility, rumen fermentation, intake and performance of lactating dairy cattle. Grass Forage Sci.. 1996, 51, S.232-241,
- Keady, Murphy Keady, T.W.J.; Murphy, J.J.: The effects of treating low dry matter herbage with a bacterial inoculant or formic acid on the intake and performance of lactating dairy cattle. Anim. Sci.. 1997, 64, S.25-36,
- Keady, Mayne, Fitzpatrick Keady, T.W.J.; Mayne, C.S.; Fitzpatrick, D.A.: Prediction of silage feeding value from the analysis of the herbage at ensiling and effects of nitrogen fertilizer, date of harvest and additive treatment on grass silage composition. J. Agric. Sci.. 2000, 134, S.353-368,
- Keady, O`Kiely Keady, T.W.J.; O`Kiely, P.: An evaluation of the effects of rate of nitrogen fertilization of grassland on silage fermentation, in-silo losses, effluent production and aerobic stability. Grass Forage Sci.. 1996, 51, S.350-362,
- Keady, Steen Keady, T.W.J.; Steen, R.W.J.: Effects of treating low dry-matter grass with a bacterial inoculant on the intake and performance of beef cattle and studies on its mode of action. Grass Forage Sci.. 1994, 49, S.438-446,
- Keller Keller, T.: Untersuchungen zur Rundballensilierung von Luzerne mit biologischen Silierzusätzen, Dissertation. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 1995
- Kühbauch Kühbauch, W.: Die Nichtstrukturkohlenhydrate in Gräsern des gemäßigten Klimabereiches, ihre Variationsmöglichkeiten und mikrobielle Verwertung. Landwirtsch. Forschung . 1977, 31, S.251-268,
- Kühbauch, Kleeberger Kühbauch, W.; Kleeberger, A.: Bacterial decomposition of grass-fructosan of different degrees of polymerization. J. Brit. Grassl. Soc.. 1975, 30, S.223-227,
- Lafreniere, Antoun Lafreniere, C.; Antoun, H.: Effect of the epiphytic lactic bacteria on the conservation of grass mixture pasture silage. Proc. 12. Intern. Silage Confer. Res. Uppsala, S.106-107,
- Langston, Bouma Langston, C.W.; Bouma, C.: A study of the microorganisms from grass silage. I. The cocci. Appl. Microbiology. 1960, 8, S.212-222,
- Lanigan Lanigan, G.W.: Silage Bacteriology. I. Water activity and temperature relationships of silage strains of lactobacillus plantarum, Lactobacillus brevis and Pediococcus cerevisiae. Aust. J.

- Biol. Sci.. 1963, 16, S.606-615,
- Lengerken, Zimmermann Lengerken, J.; Zimmermann, K.: Handbuch Futtermittelprüfung. 1 Berlin, Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, 1991
- Lin et al. Lin, C.; Bolsen, K.K.; Brent, B.E.; Hart, R.A.; Dickerson, J.T.; Feyerherm, A.M.; Aimutis, W.R.: Epiphytic microflora on alfalfa and whole-plant corn. J. Dairy Sci.. 1992, S.2484-2493,
- Lindgren et al. Lindgren, S.; Lingvall, P.; Kaspersson, A.; De Kratzow, A.; Rydberg, E.: Effects of inoculants, grain and formic acid on silage fermentation. Swed. J. Agric. Res. . 1993, 13, S.91-100,
- Lindgren et al. Lindgren, S.; Pettersson, K.; Jonsson, A.; Lingvall, P.; Kaspersson, A.: Silage inoculation: selected strains, temperature, wilting and practical application. Swed. J. Agric. Res. 1985, 15, S.9-18,
- Lindgren, Bromander, Pettersson Lindgren, S.; Bromander, A.; Pettersson, K.: Evaluation of silage additives using scale-model silo. Swed. J. Agric. Res.. 1988, 18, S.41-49,
- Lindgren, Dobrogozs Lindgren, S.; Dobrogozs, W.J.: Antagonistic activities of lactic acid in food and feed fermentation. FEMS Mikrobiol. Reviews. 1990, 87, S.149-164,
- Lingren Lindgren, S.: Microbial dynamics during silage fermentation. 1983, Proc. Eurobac Conference, Uppsala, S.12-16,
- Lingvall, Lättemäe Lingvall, P.; Lättemäe, P.: Influence of hexamine and sodium nitrite in combination with sodium benzoate and sodium propionate on fermentation and hygienic quality of wilted and long cut grass silage. J. Sci. Food Agric.. 1999, 79, S.257-264,
- Lück Lück, E.: Chemische Lebensmittelkonservierung. Stoffe, Wirkungen, Methoden. 2. Springer Verlag, 1985
- Marfart Marfart, P.: Modelling germination kinetics of spores of *Clostridium tyrobutyricum*: a tool for predictive microbiology. J. Appl. Bacteriol.. 1995, 78, S.477-480,
- Mayne Mayne, C.S.: An evaluation of an inoculant of *L.plantarum* as an additive for Grass silage for dairy cattle. Anim. Prod.. 1990, 51, S.1-13,
- McCullough McCullough, M.E.: Fermentation of silage - a review. National Feed Ingredients Association Iowa, 1978
- McDonald, Henderson, Heron McDonald, P.; Henderson, A. R.; Heron S. J. E.: The biochemistry of silage. 2 Chalcombe Publications,
- McDonald, Whittenbury McDonald, P.; Whittenbury, R.: In: Chemistry and Biochemistry of Herbage. Hrsg.: G.W. Butler; R.W. Baily: Band 3. Academic press New York and London, 1973 S.33-60,
- McGrath McGrath: Seasonal variation in the water-soluble carbohydrates of Perennial and Italian Ryegrass under cutting conditions. Irish J. Agric. Res.. 1988, 27, S.131-139,
- Mengel Mengel, K.: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 7 Jena, Gustav Fischer Verlag Jena, 1991
- Merry et al. Merry, R.J.; Winters, A.L.; Thomas, P.T.; Müller, M.; Müller, T.: Degradation of fructans by epiphytic and inoculated lactic acid bacteria and by plant enzymes during ensilage of normal and steril hybrid ryegrass. J. Appl. Bacteriol.. 1995, 79, S.583-591,
- Merry, Lowes, Winters Merry, R.J.; Lowes, K.F.; Winters A.L.: Current and future approaches to bio-control in silage. Proc. 8. Intern. Symposium: Forage conservation, Brno, S.17-27,
- Moritz Moritz, R.: Wirkungen der Nutzungshäufigkeit auf den Reservekohlenhydrat-Haushalt von *Festuca pratensis* Hudson bei variierter N-Düngung, Dissertation. Universität Hohenheim, 1988
- Morrison Morrison, I.M.: Changes in the cell wall components of laboratory silages and the effect of various additives on these changes. J.Agric. Sci. Cambridge. 1979, 93, S.581-586,
- Muck Muck, R.E.: Initial bacterial numbers on lucerne prior to ensiling. Grass Forage Sci.. 1990a, 44,

S.19-25,

- Muck Muck, R.E.: Prediction of lactic acid bacterial numbers on lucerne. Grass Forage Sci.. 1990b, 45, S.273-280,
- Müller et al. Müller, T.; Fehrmann, E.; Seyfarth, W.; Knabe, O.: Einfluß des mikrobiellen Epiphytenbesatzes von Futtergräsern auf die Qualität der Silagen. Wirtschaftseig. Futter. 1991, 37, S.41-54,
- Müller, Lier Müller, M.; Lier, D.: Fermentation of fructans by epiphytic lactic acid bacteria. J. Appl. Bacteriol.. 1994, 76, S.406-411,
- Müller, Müller, Seyfarth Müller, M.; Müller, T., Seyfarth, W.: Changes of epiphytic micro-flora during wilting of grasses and possible effects on the ensiling success. Agribiol. Res.. 1993, 46, S.28-39,
- Müller, Pahlow Müller, M.; Pahlow, G.: Zusatz von D-Cycloserin in Flüssigmedien zum MPN-Nachweis von Clostridien-Endosporen in Grassilagen. Wirtschaftseig. Futter. 1991, 37, S.157-168,
- Müller, Seyfarth Müller, M.; Seyfarth, W.: Purification and substrate-specificity of an Extracellular Fructanhydrolase from Lactobacillus-Paracasei ssp.Paracasei P4134. New Phytolog.. 1997, 136, S.1, 89-96,
- Müller, Steller Müller, M.; Steller, J.: Comparative studies of the degradation of grass fructan and inulin by strains of Lactobacillus paracasei subsp. paracasei and Lactobacillus plantarum. J. Appl. Bacteriol.. 1995, 78, S.229-236,
- Mundt Mundt, J.O.: Lactic acid bacteria associated with raw plant food material. J. Milk Fd. Technol.. 1970, 32, S.550-553,
- Nesbakken, Broch-Due Nesbakken, T.; Broch-Due, M.: Effects of a commercial inoculant of lactic acid bacteria on the composition of silages made from grasses of low dry matter content. J. Sci. Food Agric.. 1991, 54, S.177-190,
- Nienstedt Nienstedt, E.F.: Zur Nitratfrage bei Futterpflanzen. Wirtschaftseig. Futter. 1966, 9, S.337-345,
- O'Kiely O'Kiely, P.: Influence of a partially neutralised blend of aliphatic organic acids on fermentation, effluent production and aerobic stability of autumn grass silage. Irish J. Agric. Food Res.. 1993, 32, S.13-26,
- Oshima, McDonald Oshima, M; McDonald, P.: A review of the changes in nitrogenous compounds of herbage during ensilage. J. Sci. Food Agric.. 1978, 29, S.497-505,
- Oude Elfering et al. Oude Elfering, S.J.W.H.; Driehuis, F.; Krooneman, J.; Gottschal, J.C.; Spoelstra, S.F.: Lactobacillus buchneri can improve aerobic stability of silage via a novel fermentation pathway: the anaerobic degradation of lactic acid to acetic acid and 1,2 - propanediol. Proc. 12. Intern. Silage Conference Uppsala, 1999, S.266-267,
- Pahlow Pahlow, G.: Nachweis und Bestimmung der Anzahl von Clostridium-Endosporen. Mitt.. FAL Völkenrode, 1986,
- Pahlow Pahlow, G.: Untersuchung des epiphytischen Besatzes von Siliergut mit Milchsäurebakterien. Methodenvorschrift FAL Völkenrode, 1990,
- Pahlow Pahlow, G.: Einsatz und Bewertung von biologischen Siliermitteln. KTBL-Schrift 318. Grünfütterernte und Konservierung. 1987, S.59-68,
- Pahlow Pahlow, G.: Role of microflora in forage conservation. Lanbauforschung Völkenrode. 1991, Sonderheft 123, S.26-36,
- Pahlow, Honig Pahlow, G.; Honig, H.: Wirkungsweise und Einsatzgrenzen von Silage-Impfkulturen aus Milchsäurebakterien, 1. Mitt.. Wirtschaftseig. Futter. 1986, 32, S.20-25,
- Pahlow, Honig, Dyckmans Pahlow, G., Honig, H.; Dyckmans, A.: Gärverhalten von Gras aus Extensivherkünften - Einfluß von Schnittermin, Anwelkgrad und Siliermitteleinsatz. VDLUFA-Kongreß, 1992, S.461-464,

- Pahlow, Müller Pahlow, G.; Müller, Th.: Determination of epiphytic micro-organisms on grass as influenced by harvesting and sample preparation. Proc. 9. Silage Conference, New Castle upon Tyne, 1990, S.23-24,
- Pahlow, Weißbach Pahlow, G.; Weißbach, F.: Effect of numbers of epiphytic lactic acid bacteria (LAB) and of inoculation on the rate of pH-decline in direct cut and wilted grass silage. XI. Intern. Silage Confer., Aberystwyth, 1996, S.104-107,
- Peterson et al. Peterson, W.H.; Burris, R.H.; Sant Rameshchandra, Little, H.N.: Production of toxic gas (nitrogen oxides) in silage making. J.Agric. Food Chem.. 1958, 6, S.121-126,
- Pettersson Pettersson, K.: Ensiling of forages. Factors affecting silage fermentation and quality; Dissertation. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala, 1989
- Pettersson, Lindgren Perttersson, K.; Lindgren, S.: Influence of carbohydrate fraction and additives on silage quality. Grass Forage Sci.. 1990, 45, S.223-232,
- Pobednov, Weißbach, Pahlow Pobednov, J.; Weißbach, F.; Pahlow, G.: Über den Effekt von Milchsäurebakterien-Präparaten auf die Säuerungsgeschwindigkeit und die Gärqualität von Welksilage. Landbauforschung Völkenrode. 1997, 47, S.97-102,
- Podkowka, Potkanski Podkowka, W.; Potkanski, A.: Forage conservation as influenced by chemical and physical properties of the crop. Landbauforschung Völkenrode. 1991, *Sonderheft 123*, S.2-15,
- Polip, Kaiser, Weiß Polip, I; Kaiser, E.; Weiß, K.: Gärungsverlauf bei der Grünfuttersilierung in Abhängigkeit von den Substratbedingungen. Proc. 109. VDLUFA-Kongreß, Leipzig, 1997, S.291-194,
- Pötsch, Resch Pötsch, E.M.; Resch, R.: Einsatz unterschiedlicher Silierzusätze bei Grassilage unter ungünstigen Witterungsbedingungen. 1. Mitt.: Beeinflussung der Gär- und Futterqualität durch die Anwendung von Silierzusätzen. Wirtschaftseig. Futter. 1998, 43, S.1, 21-48,
- Rahn Rahn, S.: Untersuchungen zum Einfluß chemischer Siliermittel auf den Gärungsverlauf, die Gärverluste und die aerobe Stabilität von Grünfuttersilagen, Dissertation. Humboldt-Universität zu Berlin, 1992
- Rammer Rammer, C.: Quality of grass silage infected with spores of *Clostridium tyrobutyricum*. Grass Forage Sci.. 1996, 51, S.88-95,
- Rammer et al. Rammer, C.; Östling, C.; Lingvall, P.; Lindgren, S.: Ensiling of manured crop-effects on fermentation. Grass Forage Sci.. 1994, 49, S.343-351,
- Rammer, Lingvall Rammer, C.; Lingvall, P.: Influence of farmyard manure on the quality of grass silage. J. Sci. Food Agric.. 1997, 75, S.133-140,
- Reid Reid, D.: The response of herbage yield and quality to a wide range of nitrogen application rates. Proc. 10. Intern. Grassl. Congress, Helsinki, 1966, S.209-213,
- Roberts Roberts, T.A.: The microbiological role of nitrite and nitrate. J. Sci. Food Agric.. 1975, 26, S.1755-1760,
- Rooke Rooke, J.A.: Changes during ensilage in the nitrogenous components of fresh and additive treated ryegrass and lucerne. J. Food Sci. and Agric.. 1990, 51, S.525-533,
- Rücker Rücker, G.: Dynamik der vergärbaren Kohlenhydrate in Abhängigkeit von Art, Sorte, Vegetationsstadium, Anbau- und Erntetermin, Studie. IfP Paulinenaue, 1986, S.8-61,
- Ruser Ruser, B.: Das Vorkommen von Laktobakterien auf Futterpflanzen. Landbauforschung Völkenrode. 1989a, 39 *Heft 1*, S.32-39,
- Ruser Ruser, B.: Erfassung und Identifizierung des epiphytischen Milchsäurebakterienbesatzes auf Gras und Mais in Abhängigkeit von Standort, Sorte, Entwicklungsstadium sowie Ernte- und Klimaeinflüssen. Lanbauforschung Völkenrode. 1989b, *Sonderheft 103*,
- Ruser, Rutherford Ruser, B.; Rutherford, W.M.: Silage quality is affected by lactic acid bacteria strain combinations and dosage. Proc. 12. Intern. Silage Conference Res. Uppsala, 1999, S.113-



114,

- Rutzmoser, Spann Rutzmoser, K.; Spann, B.: Nitratgehalte im Grundfutter (Bayern, 1994 und 1995). Proc. 107. VDLUFA-Kongreß, Garmisch-Partenkirchen, 1995, S.417-420,
- Schmidt et al. Schmidt, L.; Weißbach, F.; Wernecke, K.D.; Hein, E.: Erarbeitung von Parametern für die Vorhersage und Steuerung des Gärungsverlaufes bei der Grünfuttersilierung zur Sicherung einer hohen Silagequalität, Forschungsbericht. Rostock, 1971,
- Seale et al. Seale, D.R.; Henderson, A.R.; Pettersson, K.O.; Lowe, J.F.: The effect of addition of sugar and inoculation with two commercial inoculants on the fermentation of lucerne silage in laboratory silos. Grass Forage Sci.. 1986, 41, S.61-70,
- Seyfarth et al. Seyfarth, W.; Müller, M.; Lier, D.; Steller, J.: Fermentation of fructan by epiphytic lactic acid bacteria. Proc. 10. Intern. Confer. on Silage Res., Dublin, 1993, S.78-79,
- Simpson, Bonnet Simpson, R.J.; Bonnet, G.D.: Fructan exohydrolase from grasses. New Phytologist. 1993, 123, S.453-469,
- Sims, Pollock, Horgan Sims, I.M.; Pollock, C.J.; Horgan, R.: Structural analysis of fructans from excised leaves of *Lolium temulentum* L.. Phytochemistry. 1992, 31, S.2989-2992,
- Slanetz, Bartley Slanetz, L.W.; Bartley, C.H.: Numbers of enterococci in water, sewage and faeces determined by membrane filter technique with an improved medium. J. Bact.. 1957, 74, S.591-595,
- Spatz et al. Spatz, G.; Abel, H.J.; Fricke, Th.; Debalque, A.: Untersuchungen zur Ermittlung des Futterwertes spät geschnittener Grünlandaufwüchse mit unterschiedlichen Methoden. Wirtschaftseig. Futter. 1991, 37, S.218-231,
- Spoelstra Spoelstra, S.F.: Inhibition of clostridial growth by nitrate during the early phase of silage fermentation. J. Sci. Food Agric.. 1983, 34, S.145-152,
- Spoelstra Spoelstra, S.F.: Nitrate in silage. A review. Grass Forage Sci.. 1985, 40, S.1-11,
- Spoelstra Spoelstra, S.F.: Degradation of nitrate by enterobacteria during silage fermentation of grass. Netherlands J. Agric. Sci.. 1987, 35, S.43-54,
- Spoelstra Spoelstra, S.F.: Comparison of the content of clostridial spores in wilted grass silage ensiled in either laboratory, pilot-scale or farm silos. Netherlands J. Agric. Sci.. 1990, 38, S.423-434,
- Spoelstra Spoelstra, S.F.: Chemische und biologische Siliermittel für die Futterkonservierung. Übers. Tierernährung. 1993, 21, S.87-116,
- Spoelstra, Hindle Spoelstra, S.F.; Hindle, V.A.: Influence of wilting on chemical and microbial parameters of grass relevant to ensiling. Netherlands J. Agric. Sci.. 1989, 37, S.355-364,
- Sprague, Taylor Sprague, M.A.; Taylor, B.B.: Forage composition and losses from orchardgrass silage as affected by maturity and nitrogen fertilization. Agronomy J.. 1970, 62, S.749-753,
- Taube et al. Taube, F.; Jahns, U.; Wulfes, R.; Südekum, K.-H.: Einfluß der Schwefelversorgung auf Ertrag und Inhaltsstoffe von Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne* L.). Pflanzenbauwissenschaften. 2000, S.4,1,42-51,
- Thylin Thylin, I.; Schuisky, P.; Lindgren, S.; Gottschal, J.C.: Influence of pH and lactic acid concentration on *Clostridium tyrobutyricum* during continuous growth in a pH-auxostat. J. Appl. Bacteriol.. 1995, 19, S.663-670,
- Vaitiekunas, Abel Vaitiekunas, W.; Abel, H.-J.: Zum Einfluß von Milchsäurebakterien als Siliermittel auf den Futterwert von Grassilage für Milchkühe. Agribiol. Res.. 1993, S.46, 2, 126-136,
- Voigtländer, Jacob Voigtländer, G.; Jacob, H.: Grünlandwirtschaft und Futterbau. Verlag Eugen Ulmer GmbH&Co, 1987,
- Wang, Burris Wang, Li Chuan; Burris, R.H.: Toxic gases in silage. Mass spectrometric study of nitrogenous gases produced by silage. J. Agric. Food Chem.. 1960, 8, S.239-242,
- Weise Weise, F.: Säurebildungsvermögen und Ökonomie des Zuckerverbrauches von Laktobazillen

- aus Gärfutter. Landbauforschung Völkenrode. 1973, 23, S.71-77,
- Weiß, Kaiser Weiß, K.; Kaiser, E.: Milchsäurebestimmung in Silageextrakten mit Hilfe der HPLC. Wirtschaftseig. Futter. 1995, S.41, 69-80,
- Weißbach Weißbach, F.: Beziehungen zwischen Ausgangsmaterial und Gärungsverlauf bei der Grünfuttersilierung, Habilitationsschrift. Universität Rostock, 1968
- Weißbach Weißbach, F.: Bestimmung der Pufferkapazität. Methodenvorschrift am Institut Grünland- und Futterpflanzenforschung. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode, 1992,
- Weißbach Weißbach, F.: Über die Bestimmung der Gärverluste in Siliversionen unter Laborbedingungen. Proc. 110. VDLUFA-Kongreß, Gießen, 1998a, S.461-464,
- Weißbach Weißbach, F.: Untersuchungen über die Beeinflussung des Gärungsverlaufes bei der Bereitung von Silage durch Wiesenkräuter verschiedener Species im Aufwuchs extensiv genutzter Wiesen. Landbauforschung Völkenrode. 1998, *Sonderheft 185*,
- Weißbach et al. Weißbach, F.; Kalzendorf, C.; Reuter, B.; Kwella, M.: Control of silage fermentation by combined application of inoculants and biochemical agents. Proc. Confer. Forage Conservation towards 2000, Braunschweig; 1991, S.47-49,
- Weißbach, Haacker Weißbach, F.; Haacker, K.: Über die Ursachen der Buttersäuregärung in Silagen aus Getreideganzpflanzen. Wirtschaftseig. Futter. 1988, S.34, 88-99,
- Weißbach, Honig Weißbach, F.; Honig, H.: Ein neuer Schlüssel zur Beurteilung der Gärqualität von Silagen auf der Basis der chemischen Analyse. Proc. 104. VDLUFA-Kongreß, Göttingen; 1992, S.489-494,
- Weißbach, Honig Weißbach, F.; Honig, H.: Schlüssel zur Bewertung der Gärqualität von Grünfuttersilagen. Sitzung des DLG-Fachausschusses für Futterkonservierung am 18.03.1999,
- Weißbach, Honig Weißbach, F.; Honig, H.: Über die Vorhersage und Steuerung des Gärungsverlaufes bei der Silierung von Grünfütter aus extensivem Anbau. Landbauforschung Völkenrode. 1996, S.46, 10-17,
- Weißbach, Honig, Kaiser Weißbach, F.; Honig, H.; Kaiser, E.: The effect of nitrate in the silage fermentation. Proc. 10. Intern. Silage Conference Res. Dublin; 1993, S.122-123,
- Weißbach, Schmidt, Hein Weißbach, F.; Schmidt, L.; Hein, E.: Method of anticipation of the run fermentation in silage making, based on the chemical composition of the green fodder. Proc. XII. Intern. Grassland Congr., Sec.2, 1974a, S.663-673,
- Weißbach, Schmidt, Hein Weißbach, F.; Schmidt, L.; Hein, E.: Naturwissenschaftlich-physiologische Grundlagen zur Grünfütterkonservierung mit Ameisensäure und zum Einsatz der Konservate in der Fütterung. Forschungsbericht. Rostock-Dummersdorf, 1974b,
- Wieringa Wieringa, G.W.: The influence of nitrate on silage fermentation. Proc. X. Intern. Grassland Congr., Helsinki, Sec.2; 1966, S.191-194,
- Wilson Wilson, R.K.: Laboratory studies on chemical, electrical-resistance and physical changes in grass silage over the first 14 days. Irish J. Agric. Res.. 1985, S.24, 39-47,
- Wilson, Flynn Wilson, R.K.; Flynn, A.V.: Effect of fertiliser N, wilting and delayed sealing on the chemical composition of grass silages made in laboratory silo. Irish J. Agric. Res.. 1979, S.18, 13-23,
- Winters et al. Winters, A.L.; Merry, R.J.; Müller, M.; Davies, D.R.; Pahlow, G.; Müller, Th.: Degradation of fructans by epiphytic and inoculant lactic acid bacteria during ensilage of grass. J. Appl. Microbiology. 1998, S.84, 304-312,
- Winters, Whittaker, Wilson Winters, A.L.; Whittaker, P.A.; Wilson, R.K.: Microscopic and chemical changes during the first 22 days in the Italian ryegrass and cocksfoot silages made in laboratory silos. Grass Forage Sci.. 1987, S.42, 191-196,
- Woods, Wood, Gibbs Woods, L.F.J.; Wood, J.M.; Gibbs, P.A.: The involvement of nitric oxide in the

- inhibition of the phosphoroclastic system in *Clostridium sporogenes* by sodium nitrite. J. General Microbiol.. 1995, S.125, 399-406,
- Woolford Woolford, M.K.: The silage fermentation. New York, 1984, Marcel Decker,
- Woolford Woolford, M.K.: Mikrobiological screening of the straight chain fatty acids (C1-C12) as potential silage additives. J. Sci. Food Agric.. 1975, S.26, 219-228,
- Wyss Wyss, U.: Influence of inoculation and pre-wilting of extensively used grass on silage quality. Proc. XII. Intern. Silage Confer. Res. Uppsala; 1995, S.125-126,
- Wyss, Vogel Wyss, U.; Vogel, R.: Silagequalität von Grünfütter aus intensiver und extensiver Bewirtschaftung. Proc. 107. VDLUFA-Kongreß, Garmisch-Patenkirchen; 1995, S.441-444,
- Zhang et al. Zhang, J.G.; Cai, Y.; Kobayashi, R.; Kumi, S.: Characteristics of lactic acid bacteria isolated from forage crops and their effects on silage fermentation. J. Food Sci. Agric.. 2000, S.810, 1455-1460,
- Zierenberg, Gabel, Friedel Zierenberg, B.; Gabel, M.; Friedel, K.: Einfluß verschiedener Fermentationstemperaturen auf die Stoffwechselaktivität von Milchsäurebakterien. Proc. 110. VDLUFA-Kongreß, Gießen; 1998, S.234-237,

## **8 Anhang**

Tab. 1: Nutzungsregime (Schnittermine) des Grünfutters zur Silierung (Berger Versuche); Versuche mit *Dactylis glomerata* und *Festuca species* aus unterschiedlichen Stufen der Nutzungsintensität; 1993-1996 (vierjährig)

Schnittnutzung	3- Schnitt Mai / Juli / Oktober	2- Schnitt Juni / August	2- Schnitt Juni / August	2- Schnitt Juli / Oktober
<b><i>Dactylis</i> <i>glomerata</i> a 1</b>	25.05./14.07./06.10.93 26.05./13.07./04.10.94 23.05./25.07./04.10.95 * 23.07./25.09.96	10.06./18.08.93 09.06./01.09.94 06.06./25.07.95 04.06./13.08.96	30.06./19.08.93 23.06./01.09.94 27.06./22.08.95 24.06./13.08.96	15.07./07.10.93 13.07./05.10.94 25.07./04.10.95 23.07./25.09.96
<b><i>Festuca</i> <i>species</i> a 2</b>	25.05./14.07./06.10.93 26.05./13.07./04.10.94 23.05./25.07./04.10.95 * 23.07./25.09.96	10.06./18.08.93 09.06./01.09.94 06.06./25.07.95 04.06./13.08.96	30.06./19.08.93 23.06./01.09.94 27.06./22.08.95 24.06./13.08.96	15.07./07.10.93 13.07./05.10.94 25.07./04.10.95 23.07./25.09.96

\*wurde aus technischen Gründen nicht einsiliert

a1 : Gemenge konkurrenzstarker Arten (Knäulgras)

a2 : Gemenge konkurrenzschwacher Arten (Schwingelarten):

Rotschwingel	30 %
Schafschwingel	10 %
Wiesenschwingel	30 %
Wiesenrispe	30%

Tab. 2: Nutzungsregime (Schnittermine und Düngungsvarianten) des Grünfutters zur Silierung (Blumberger Versuche) Versuche mit Grasmischungen aus unterschiedlichen Nutzungsvarianten; 1998 (einjährig)

Hauptbestandsbildner <sup>1)</sup>	Schnittzeitpunkt 3-Schnitt- Nutzung						2-Schnitt-Nutzung		
	Variante A <sup>2)</sup>			Variante B <sup>3)</sup>			Variante C <sup>4)</sup>		
	Mitte Mai	Mitte Juli	Anfang Oktober	Mitte Mai	Ende Juli	Anfang Oktober	Anfang Juli	Ende Sep- tember	
D.Weidelgras/Wiesenrispe/ Glatthafer/Wiesenlieschgras (Fl.6)	<b>13.5.</b>	<b>15.7.</b>	<b>7.10.98</b>	<b>14.5.</b>	<b>21.7.</b>	<b>8.10.98</b>	<b>8.7.</b>	<b>29.9.98</b>	
D.Weidelgras/Wiesenrispe (Fl.5)	<b>20.5.</b>	<b>14.7.</b>	<b>7.10.98</b>	<b>25.5.</b>	<b>22.7.</b>	<b>8.10.98</b>	<b>6.7.</b>	<b>29.9.98</b>	
Wiesenliesch- gras/Weidelgras/Wiesenrispe (Fl.2)							<b>1.7.</b>	<b>30.9.98</b>	
Knautgras/Wiesenlieschgras (Fl.4)							<b>2.7.</b>	<b>14.9.98</b>	

1) Hauptbestandsbildner zu Versuchsbeginn nach Ertragsanteilschätzung

2) Variante A: Nutzungsbeginn bei Weidereife, Folgeschnitte nach Entwicklungsstand, Düngung mit mineralischem Stickstoff, 50 kg N/ha zu jedem Schnitt

3) Variante B: Nutzungsbeginn bei Weidereife, Folgeschnitte nach Entwicklungsstand, keine N- Düngung

4) Variante C: Nutzungsbeginn nach dem 1. Juli; 2. Schnitt im Spätsommer, keine N-Düngung

Tab. 3: Veruche mit Grasmischungen aus unterschiedlichen Nutzungsvarianten; Ertragsanteile (%) der Flächen und Varianten nach Aufwüchsen und Schnittzeitpunkten

1998 (einjährig)								
	3-Schnitt-Nutzung						2-Schnitt-Nutzung	
	Variante A			Variante B			Variante C	
	1.Schnitt	2.Schnitt	3.Schnitt	1.Schnitt	2.Schnitt	3.Schnitt	1.Schnitt	2.Schnitt
<b>Fläche 6</b>	<b>13.05.98</b>	<b>15.07.98</b>	<b>07.10.98</b>	<b>14.05.98</b>	<b>21.07.98</b>	<b>08.10.98</b>	<b>08.07.98</b>	<b>29.09.98</b>
D.Weidelgras	25	29	26	13	17	17	3	4
Wiesenlieschgras	15	13	10	23	20	12	34	15
Wiesenrispe	22	25	30	12	13	14	3	2
Rotschwingel	6	7	7	4	7	11	4	3
Glatthafer	25	17	18	34	29	22	47	58
Weißklee	1	1	2	6	8	19	2	6
Knautgras	1	2	3	1	1	1	1	4
Andere Arten	5	6	4	7	5	4	6	8
<b>Fläche 5</b>	<b>20.05.98</b>	<b>14.07.98</b>	<b>07.10.98</b>	<b>25.05.98</b>	<b>22.07.98</b>	<b>08.10.98</b>	<b>06.07.98</b>	<b>29.09.98</b>
D.Weidelgras	39	41	38	34	28	25	20	16
Wiesenlieschgras				3	3	3		
Wiesenrispe	27	35	39	26	27	33	30	35
Rotschwingel	11	10	7	18	14	17	22	17
Glatthafer		1	1	2	1	1		1
Weißklee	3	3	5	8	9	11	6	6
Knautgras	4	2	2	2	2	2	4	4
Andere Arten	16	8	8	7	16; dav.10% Distel	8	18; dav.12% Quecke	21; dav.13% Löwenzahn
<b>Fläche 2</b>							<b>01.07.98</b>	<b>02.07.98</b>
D.Weidelgras							13	12
Wiesenlieschgras							39	26
Wiesenrispe							12	13
Rotschwingel							9	8
Glatthafer								
Weißklee							3	6
Knautgras								1
Andere Arten							24	34; dav.17% Löwenzahn
<b>Fläche 4</b>							<b>02.07.98</b>	<b>14.09.98</b>
D.Weidelgras								
Wiesenlieschgras							19	9
Wiesenrispe							2	1
Rotschwingel								1
Glatthafer								
Weißklee								
Knautgras							61	40
Andere Arten							18; dav.9% Rotklee	49; dav.38% Rotklee

Tab. 4: Bodenverhältnisse am Standort der Versuchsstationen  
 Quelle: Ergebnisreport 1998, Institut für Pflanzenbauwissenschaften, Versuchsstation  
 Bodenverhältnisse (Ap-Horizont) der Versuchsstation Blumberg

Bodenform bzw. -typ	Sandanteil (%)	Schlupfanteil (%)	Tonanteil (%)	Bodenart	pH	C <sub>t</sub> (%)
Salmtieflehm- Fahlerde, Sand- Braunerde	55,2	37,0	7,8	Mittel schlupfiger bis mittel lehmiger Sand	5,1	0,7

Tabelle 5: Bodenverhältnisse (Ap-Horizont) der Versuchsstation Berge

Bodenform bzw. -typ	Sandanteil (%)	Schlupfanteil (%)	Tonanteil (%)	Bodenart	pH	C <sub>t</sub> (%)
Parabraunerde, Salmtieflehm- Fahlerde	75,6	16,6	7,8	schwach bis mittel lehmiger Sand	6,6	1,0



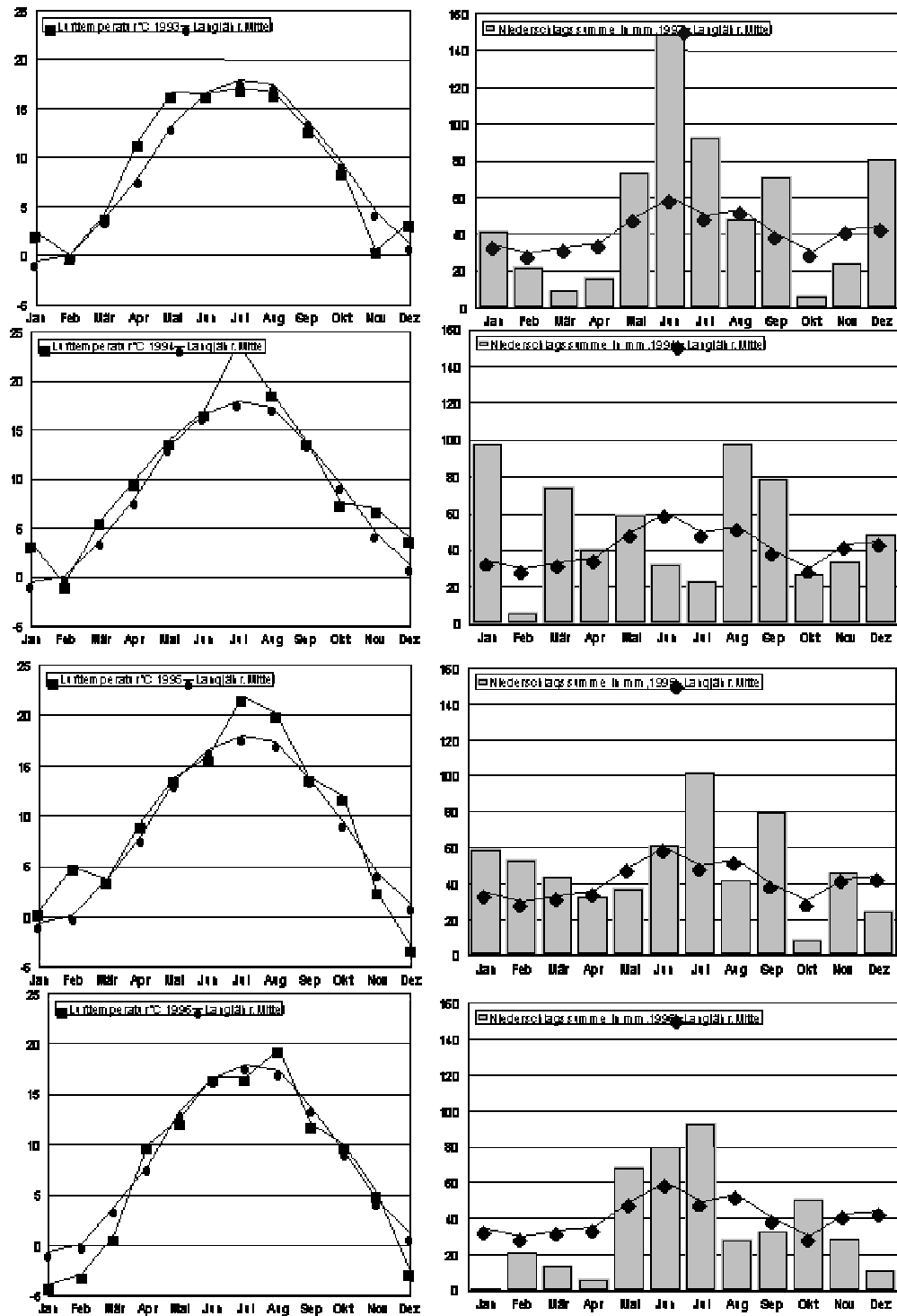


Abb. 1: Klima- und Witterungsverhältnisse am Standort der Versuchstation Berge 1993-1996, jeweils im Vergleich zum langjährigen Mittel; Durchschnittliche Tagestemperatur in °C (in 2 m Höhe) und monatliche Niederschlagsmenge in mm (in 1,0 m Höhe)

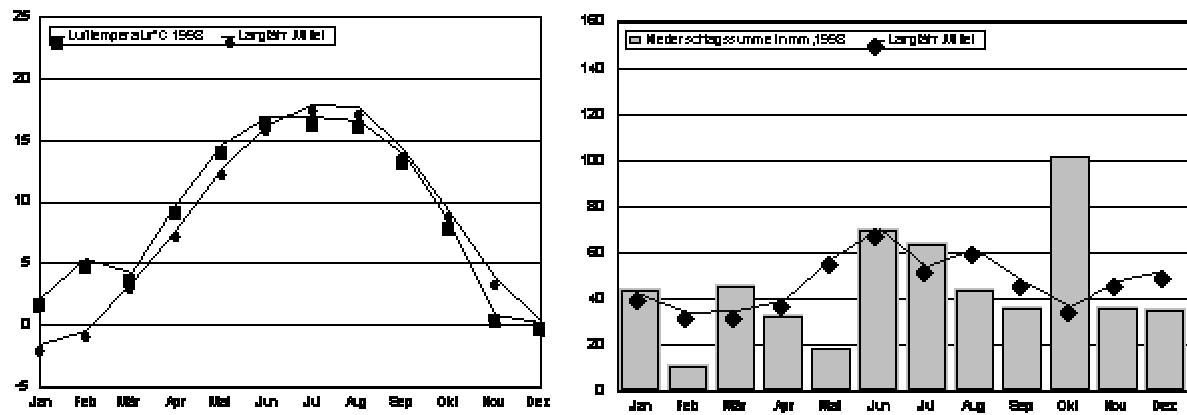


Abb. 2: Klima- und Witterungsverhältnisse am Standort der Versuchstation Blumberg 1998, jeweils im Vergleich zum langjährigen Mittel; Durchschnittliche Tagestemperatur in °C (in 2 m Höhe) und monatliche Niederschlagsmenge in mm (in 1,0 m Höhe)

## **Selbständigkeitserklärung**

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, daß ich die vorliegende Arbeit zum Thema

***„ Gärungsverlauf und Gärqualität von Silagen aus nitratarmem Grünfutter “***

selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, habe ich als solche gekennzeichnet.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Kirsten Weiß

Berlin, Oktober 2000

<b>Lebenslauf</b>	
Name:	Kirsten Weiß, geb. Henning
Geburtsdatum:	16. Mai 1963
Geburtsort:	Berlin
Familienstand:	verheiratet, 2 Kinder
<b><u>Schulbesuch</u></b>	
1969 - 1979	Allgemeinbildende Polytechnische Oberschule Fredersdorf
1979 - 1982	Betriebsberufsschule Berlin- Chemie; Berufsausbildung mit Abitur
1982	Abitur
	Facharbeiterprüfung Chemielaborant; Spezialisierungsrichtung Analytik
<b><u>Studium</u></b>	
1982 - 1987	Chemiestudium an der Technische Universität Dresden
1987	Hochschulabschluß als Diplom-Lebensmittelchemikerin
<b><u>Berufstätigkeit</u></b>	
1987 - 1989	Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Zentralinstitut für Ernährung der Akademie der Wissenschaften Bergholz- Rehbrücke
1989 bis heute	Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Humboldt-Universität zu Berlin, Agrarwissenschaften/Pflanzenproduktion; ab 1993 Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät/ Nutztierwissenschaften, Fachgebiet Futtermittelkunde

## Danksagung

Es ist mir eine angenehme Pflicht, auf diesem Wege allen zu danken, die mir bei der Anfertigung dieser Dissertationsschrift hilfreich zur Seite standen.

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Kaiser für die Überlassung dieses Themas und die großzügige Förderung während der Promotion und meiner gesamten bisherigen beruflichen Entwicklung. Ich habe bei ihr stets Unterstützung und viele Anregungen bekommen, in einer sehr offenen und angenehmen persönlichen Atmosphäre.

Für die Durchführung der umfangreichen Versuche und Analysen danke ich meinen Kolleginnen Fr. Dr. Krause, Fr. Becker, Frau Kreßner, Fr. Koenig und Frau Burtchen, die nicht nur mit großer Sorgfalt und Umsicht an der Erstellung des Datenmaterials, sondern auch mit vielen Ideen und Vorschlägen an den Forschungsarbeiten beteiligt waren. Nicht zuletzt danke ich meiner Arbeitsgruppe auch für das gute Arbeitsklima, das mir ermöglichte, mich auf meine Promotionsarbeit zu konzentrieren.

Mein Dank gilt weiterhin meiner lieben Familie, insbesondere meinem Mann und meinen Eltern sowie meiner Schwiegermutter, die mir verständnisvoll und selbstlos zur Seite stehen und mich immer bei meinem beruflichem Werdegang unterstützt haben.

Kirsten Weiß